DEUTSCHE GEODÄTISCHE KOMMISSION
bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Reihe C Dissertationen Heft Nr. 561

Ulrich Weferling

Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe

München 2002

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

ISSN 0065-5325 ISBN 3 7696 5000 X

DEUTSCHE GEODÄTISCHE KOMMISSION
bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Reihe C Dissertationen Heft Nr. 561

Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus
zur Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Ulrich Weferling

München 2002

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

ISSN 0065-5325 ISBN 3 7696 5000 X

Adresse der Deutschen Geodätischen Kommission:

Deutsche Geodätische Kommission

Marstallplatz 8 ● D – 80 539 München

Telefon (089) 23 031 113 ● Telefax (089) 23 031 – 283/ – 100

E-mail hornik@dgfi.badw.de ● http://www.dgfi.badw.de/dgfi/DGK/dgk.html

Promotionskommission:

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Ritter, Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. Adolf Hoffmann, Deutsches Archäologisches Institut, Istanbul
Prof. Dr.-Ing. Jörg Albertz, Technische Universität Berlin

Tag der Einreichung: 18. Juni 2001
Tag der Disputation: 27. November 2001

ISSN 0065-5325 ISBN 3 7696 5000 X

Kurzzusammenfassung

Die Bauaufnahme ist eine der grundlegenden Methoden, um Informationen bestehender Bauwerke zu erfassen und damit eine Datengrundlage für bauwerksbezogenen Forschungen und Planungen bereitstellen zu können. Dabei reichen die Anwendungsfelder von der historischen Bauforschung über die Denkmalpflege bis zur Bauwerkssanierung und zum Facility Management. In allen Anwendungsgebieten wird das Potenzial moderner computergestützter geodätischer und photogrammetrischer Bauaufnahmemethoden entweder überhaupt nicht oder nur unzureichend genutzt. Ein wesentlicher Grund für dieses Defizit ist darin begründet, dass die bestehenden Abhängigkeiten zwischen der inhaltlichen fachbezogenen Interpretation der einzelnen Fachdisziplinen und den geometrisch orientierten geodätischen und photogrammetrischen Bauaufnahmeverfahren nicht erforscht sind und damit auch nicht im Verlauf der komplexen Auseinandersetzung mit Bauwerken berücksichtigt werden können.

Durch die in der Arbeit geleistete Methodenbewertung und Strategieentwicklung wird die Bauaufnahme als komplexer, allumfassender Modellierungsvorgang verstanden, bei dem von einem vielschichtigen Originalbauwerk eine auf bestimmte Fragestellungen ausgerichtete Modellierung vorzunehmen ist. Dafür wird einleitend die Bauaufnahme vor dem Hintergrund der 'Allgemeinen Modelltheorie' evaluiert und somit ein Bewertungsrahmen für die Anforderungen an die Bauaufnahme aufgestellt. Hierauf aufbauend werden sowohl die Anwendungsfelder wie die Methoden und Verfahren der Bauaufnahme in ihren grundlegenden Prinzipien und gegenseitigen Abhängigkeiten erforscht. Im Ergebnis wird das maximale Nutzungspotenzial der geodätischen und photogrammetrischen Bauaufnahmemethoden für die Anliegen der jeweiligen Anwendungsgebieten aufgestellt. Daraus wird zusammenfassen eine methodenintegrierende, interdisziplinäre Bauaufnahmestrategie formuliert, in der die Stärken der einzelnen Bauaufnahmemethoden zu einem umfassenden Bauaufnahmekonzept zusammengeführt werden. Insgesamt kann mit diesem Konzept eine größere Akzeptanz der Bauaufnahmemethoden erzielt werden, sodass letztendlich eine höhere Qualität der Bauaufnahme in allen Anwendungsbereichen sicherzustellen ist.

Summary

Surveying and documentation are two of the basic methods to acquire information about modern and historic buildings, monuments and sites. In many disciplines the geometric and non-geometric building information is important to investigate historic processes , to plan and execute redevelopments or to build up Facility Management Systems. Unfortunately in these fields the potential of computerised geodetic and photogrammetric methods is not very often used for the documentation purpose. In many cases the documentation process is done without the participation of geodesy and photogrammetry, especially in projects of historic investigations or heritage conservation. The missing link between the specific evaluation aims of the building related disciplines and the geometric evaluation of geodesy and photogrammetry is one of the main reasons. Until now the interaction between geometry and all other building information is not investigated sufficient and therefore the complex interdependencies could not take into account using modern methods for building documentation.

To solve this problem interdisciplinary documentation methods and strategies are developed based on the so called 'Allgemeine Modelltheorie'. The well known modern geodetic and photogrammetric surveying methods are evaluated using the main principles of this modelling theory. As a result of this evaluation the surveying methods are adapted to the application in the different fields of building documentation. An interdisciplinary, method combining documentation strategy is developed which guarantees the optimal use of geodetic and photogrammetric methods for building documentation, especially in the field of historic building research.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Bauwerke legen Zeugnis über die vielfältigen Aspekte menschlicher Zivilisationen ab. In den gebauten Werken der prähistorischen Siedlungen spiegeln sich wie in denen der modernen Metropole des gerade begonnenen 21. Jahrhunderts nicht nur die bautechnischen Fertigkeiten der Entstehungszeit wider, sondern auch die an die Bauwerke gestellten gesellschaftlichen Anforderungen. Die einfachste Hütte offenbart dem Betrachter nicht weniger Wissenswertes über Geschichte als die den höchsten Ansprüchen genügende Palastanlage. Das Individuelle wie das Typische lässt sich in den Ausstattungsgegenständen oder der Bauornamentik, in den konstruktiven Elementen oder den Raumfolgen, in dem Gesamtbauwerk oder in größeren Ensembles, aber auch in ganzen Städten oder Kulturlandschaften finden.

Sollen die in den Bauwerken enthaltenen Eigenschaften durch umfangreiche Analysen aufgedeckt werden, nimmt die Bauaufnahme als eine wesentliche Grundlage eine herausragende Bedeutung ein. Die im Rahmen einer Bauaufnahme auszuführende Bestandserfassung des Bauwerkes kann je nach Zielstellung auf kleine Bereiche und klar definierte Fragestellungen ausgerichtet sein, sie kann sich aber auch auf große Zusammenhänge erstrecken und wird nicht selten angefertigt, um eine möglichst detaillierte, umfassende Dokumentation zu erstellen. Die besondere Schwierigkeit aller Bauaufnahmen ist im Wesentlichen durch die Komplexität der Bauwerke begründet. Vom Tage ihrer Fertigstellung an unterliegen Bauwerke einer fortgesetzten Veränderung, die mit steigendem Alter eine immer kompliziertere Struktur aus den verschiedenen, sich durchdringenden Bauzuständen hervorbringt. Dieses Geflecht an Informationen zu entwirren, ist eine der zentralen Fragestellungen, mit denen sich die auf einer Bauaufnahme basierenden Bauuntersuchungen auseinandersetzen.

Bauaufnahmen werden aber nicht nur angefertigt, um in der Vergangenheit stattgefundene Veränderungen zu dokumentieren, sondern sie sind ebenso notwendige Grundlage für die Instandhaltung, Umgestaltung oder Erweiterung des bestehenden Baubestandes. Gegenüber den Neubaumaßnahmen hat die Bautätigkeit im Altbaubereich in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Die Konversion bestehender Gebäude zu Bauwerken, die den heutigen Ansprüchen einer Wohn-, Gewerbe- oder Industrienutzung entsprechen, wird auch in Zukunft einen wichtigen Bestandteil der Bautätigkeit ausmachen. Sind die Bestandspläne der Altbauten nicht mehr vorhanden oder wurden diese in der Vergangenheit nicht konsequent fortgeführt, kann nur eine Bauaufnahme verlässliche Planungsunterlagen bereitstellen. Erst die genaue Kenntnis des Bestandes ermöglicht eine Entwicklung der Bausubstanz, die bestehende Ressourcen nutzt und darauf aufbauend neue bauliche Akzente setzen kann. Dies gilt in denkmalpflegerischer wie in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Denn eine qualitativ hochwertige Bauuntersuchung, die vielfach als lästige Pflicht für die Denkmalpflegebehörde angesehen wird, offenbart wertvolle Informationen über den augenblicklichen Bauwerkszustand. Nur auf der Basis fundierter Informationen kann das Risiko von unvorhergesehenen Komplikationen während einer Sanierungsmaßnahme möglichst gering gehalten werden, um daraus resultierende Planungsänderungen und die damit verbundenen Kosten zu vermeiden.

Weiterhin sind besonders größere Bauwerke in ihrer Unterhaltung einem zunehmend steigenden wirtschaftlichen Druck ausgesetzt, sodass für eine optimierte Bewirtschaftung die dem Bauwerk innewohnenden Nutzungsmöglichkeiten genau bekannt sein sollten. Auch für diese aus architekturgeschichtlicher oder denkmalpflegerischer Sicht wenig anspruchsvolle Aufgabe ist eine umfassende Bauaufnahme die beste Grundlage.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit lässt sich das Anwendungsspektrum der Bauaufnahme in drei Fachgruppen einteilen:

- für geschichtliche Fragestellungen im Bereich von Archäologie, historischer Bauforschung und Denkmalpflege
- als Planungsgrundlage für anstehende Sanierungs- und Umbaumaßnahmen
- zum Aufbau von Gebäudeinformationssystemen

In jedem dieser Gebiete werden nicht nur grundsätzlich andere Anforderungen an die Bauaufnahme gestellt, es können vielmehr durch die konkrete Fragestellung bedingt unterschiedliche inhaltliche Aspekte in das Zentrum der Bauaufnahme rücken. Diese inhaltlichen Anforderungen wirken sich direkt

auf die Bauaufnahmemethode aus und äußern sich sowohl in der Wahl der Methode als auch in der Art ihrer Anwendung.

Ein besonderes Beispiel für die Wechselwirkung zwischen Aufnahmeziel und Bauaufnahmemethode stellt das verformungsgerechte Handaufmaß in seiner Anwendung für die historische Bauforschung dar. Innerhalb dieses Fachgebietes sollen in einer intensiven, im Angesicht des Bauwerks auszuführenden Auseinandersetzung möglichst viele Informationen über den ursprünglichen Zustand und die Veränderungen und damit über die Baugeschichte erkannt und erfasst werden. Zeitbedarf und Wirtschaftlichkeit der Bauaufnahme nehmen dabei eine untergeordnete Bedeutung ein, im Vordergrund steht die intensive Beschäftigung des Forschers mit seinem Bauaufnahmeobjekt. Für diese Anforderung ist das verformungsgerechte Handaufmaß die ideale Bauaufnahmemethode, die den Bauaufnehmenden in langen Messkampagnen zu unablässiger Beschäftigung mit dem Bauaufnahmeobjekt zwingt.

Ganz andere Anforderungen werden an die Bauaufnahme gestellt, soll diese in Vorbereitung einer Sanierung, einer Umbau- oder Erweiterungsmaßnahme angefertigt werden. In diesen Anwendungsfeldern tritt die Erfassung der Bauwerksgeometrie in den Vordergrund, die überwiegend zur räumlichen Festlegung der geplanten Maßnahmen ausgeführt wird. Die geometrische Erfassung wird oft von der inhaltlichen Interpretation getrennt, die Bauaufnahme liefert ein mehr oder weniger generalisiertes Abbild der an der Oberfläche sichtbaren Geometrieelemente. Typische Beispiel sind das Baukonturen erfassende, einfache Architektenaufmaß oder die photogrammetrische Fassadenentzerrung.

In den letzten Jahren ist mit dem Fortschritt im Computer- und Softwarebereich eine in gleichem Maße umwälzende Entwicklung der geodätischen und photogrammetrischen Bauaufnahmemethoden erfolgt. Mittlerweile stehen Geräte und Methoden zur Anwendung bereit, mit denen die Bauwerksgeometrie nahezu automatisch bestimmt werden kann und die durch ihr großes Rationalisierungspotenzial eine hohe Effizienz der Bauaufnahme ermöglichen. Diese hohe Leistungsfähigkeit führt zu einem Anwachsen der instrumenten- und computergestützten Bauaufnahmemethoden in nahezu allen Anwendungsfeldern. Doch nicht immer sind die modernen Methoden uneingeschränkt zum Einsatz in der Bauaufnahme geeignet, auch wenn eine hohe Messgenauigkeit, eine anschauliche Präsentationsform oder eine schnelle Durchführung auf den ersten Blick dafür sprechen mögen. Gleichfalls können auch die im traditionellen Handaufmaß durchgeführten Bauaufnahmeprojekte nicht alle Anforderungen erfüllen, die sich aus einem veränderten Umgang mit den Bauwerksdaten ergeben. Wird die Bauaufnahme nicht unter Berücksichtigung der spezifischen inhaltlichen und zweckbezogenen Anforderungen ausgeführt, entsteht zwar unter Umständen ein geometrisch richtiger Plan, der aber dem Ziel der Bauaufnahme nicht gerecht wird. Die Beispiele, bei denen mit modernen Methoden ausgeführte Bauaufnahmen erneut im Handaufmaß angefertigt wurden, lassen sich ebenso finden wie die Fälle, in denen der im Handaufmaß entstandene Tuscheplan nur im Planschrank archiviert und z.B. nicht mehr zur weiteren Sanierungsplanung herangezogen wurde.

Die wichtigste Fragestellung ist somit vor der eigentlichen Bauaufnahme zu beantworten, wenn über die zur Anwendung kommenden Methoden entschieden werden soll. Um dabei das Potenzial der vielfältigen Bauaufnahmemethoden in der täglichen Bauaufnahmepraxis nutzen zu können, ist eine auf die Zielstellung ausgerichtete Bewertung der zur Verfügung stehenden Verfahren unerlässliche Voraussetzung.

In der Vergangenheit sind die Bauaufnahmemethoden von unterschiedlichen Autoren aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet worden. Dabei wurde die Problematik sowohl von den historisch arbeitenden Disziplinen wie von geodätischen oder photogrammetrischen Autoren entwickelt. Wird die Bauaufnahme aus der Sichtweise der Bauforschung oder Denkmalpflege betrachtet, ist eine starke Ausrichtung auf das Ergebnis zu beobachten, das den besonderen Anforderungen von historischer Bauforschung oder Denkmalpflege genügen muss. Ausführlich wird das vielfach favorisierte verformungsgerechte Handaufmaß erläutert, die der Zeit entsprechenden technischen Möglichkeiten von Geodäsie, Photogrammetrie oder anderen Disziplinen werden ergänzend am Rande behandelt, eine Weiterentwicklung der Bauaufnahmemethodik unter Einsatz der modernsten Verfahren steht generell nicht im Vordergrund [vgl. z.B. STAATSMANN, 1910; WANGERIN, 1992; CRAMER, 1993; PETZET, MADER, 1993; ECKSTEIN, 1999]. Ein ganz anderer Umgang mit der Bauaufnahme lässt sich aus der geodätischen bzw. photogrammetrischen Literatur ableiten. Hierin werden überwiegend die modernsten geodätischen und photogrammetrischen Verfahren auf die Geometriebestimmung von Bauwerken angewendet [vgl. z.B. RASLAN, 1965; SEEGER, 1979; KEHNE, 1989;

RUNNE, 1993; BUCHMANN, 1996; ALBERTZ, WIEDEMANN, 1997; STREILEIN, 1998; HEINE, 2000]. Nur selten führt die Auseinandersetzung mit den Problemen der geometrischen Bauwerkserfassung zu neuen, eigenständigen Entwicklungen [vgl. MEYDENBAUER, 1896]. Alle geodätischen oder photogrammetrischen Verfahren haben die Steigerung von Effektivität und geometrischer Genauigkeit zum Ziel. Die fachbezogenen inhaltlichen Anforderungen bilden den Rahmen, in den die Methodenentwicklung angesiedelt ist. Ein gleichberechtigtes Nebeneinander von geodätischen bzw. photogrammetrischen Methoden mit dem verformungsgerechten Handaufmaß wird in den Bereichen praktiziert, in denen geodätische Grundlagennetze unabdingbar sind oder die Objektgröße den Einsatz berührungsloser Verfahren erfordert [vgl. z.B. SECKEL et al., 1983; SCHIRMER, ZICK, 2000]. Die Wechselwirkung zwischen geometrischer und inhaltlicher Auswertung wird nicht immer erkannt und wenn, dann nur in Ansätzen während der Auswertung berücksichtigt. Die Ausnahme bilden die Beispiele, in denen eine geometrische Auswertung mit den Bedürfnissen der inhaltlichen so eng verbunden wird, dass ein integratives Bauaufnahmeprojekt entsteht [vgl. z.B. LAGERQVIST, 1996; IOANNIDIS et al., 1997; HOFFMANN et al., 2000].

Grundlage der im Folgenden zu leistenden Methodenbewertung und Strategieentwicklung ist ein Verständnis, das die Bauaufnahme als komplexen, allumfassenden Modellierungsvorgang auffasst, bei dem von dem vielschichtigen Originalbauwerk eine auf eine bestimmte Fragestellung ausgerichtete Modellierung vorzunehmen ist. Dementsprechend schließt der Begriff 'Bauaufnahme' nicht nur den eigentlichen Vorgang des Aufnehmens der geometrischen und inhaltlichen Objekteigenschaften ein, er wird vielmehr für den gesamten Arbeitsprozess von der Objektauswahl, über die Datenaufnahme und -auswertung bis zur Ergebnispräsentation angewendet. Als Bauaufnahme werden somit alle Abläufe bezeichnet, bei denen vom Originalbauwerk ein Bauwerksmodell entsteht – unabhängig von der Qualität des Ergebnisses.

Mit diesem weitgefassten Bauaufnahmeverständnis werden die Bauaufnahmemethoden für die wichtigsten Einsatzgebiete erläutert, bewertet und entwickelt. Der Schwerpunkt der Ausführungen liegt jedoch auf der Anwendung für die historische Bauforschung. Innerhalb dieser Fachrichtung werden besonders hohe Anforderungen an die inhaltliche Vollständigkeit und geometrische Genauigkeit gelegt, sodass die prinzipiellen Probleme, die bei allen Einsatzgebieten der Bauaufnahme auftreten, hier besonders deutlich zu erkennen sind und klar herausgearbeitet werden können.

Um eine umfassende Bewertung der Bauaufnahmemethoden leisten zu können, muss das weite Spektrum der Modellierungsvorgänge für die Bauaufnahme in seinem Anwendungsbezug zu den Fachgebieten wie in den eigentlichen methodischen Fragestellungen entwickelt werden. Dabei wird eine integrative Betrachtung der Bauaufnahme vorgenommen, bei der die Anforderungen an die Bauaufnahme wie die Möglichkeiten der zur Verfügung stehenden Methoden im Gesamtzusammenhang dargestellt werden sollen. Um diesen übergreifenden Bezug für alle an der Bauaufnahme Beteiligten nachvollziehbar aufzeigen zu können, ist eine ausführliche Aufarbeitung der verschiedenen Teilaspekte der Bauaufnahme notwendig.

Als allgemeine Bewertungsgrundlage werden hierfür zuerst die grundsätzlichen Prinzipien von Modellierungsvorgängen behandelt sowie deren Anwendbarkeit auf die Bauaufnahme nachgewiesen.

Auf diesem modelltheoretischen Fundament erfolgt die Einführung in die wichtigsten Anwendungsgebiete der Bauaufnahme, die in ihren Anliegen vorgestellt und auf ihren besonderen Bezug zur Bauaufnahme hin untersucht werden.

Von der Wahl des Koordinatensystems bis zur Form der Ergebnispräsentation werden die für alle Bauaufnahmemethoden notwendigen Grundlagen separat von den Methoden und Verfahren in ihrer Bedeutung aufgearbeitet. Diese Trennung von den eigentlichen Bauaufnahmemethoden ermöglicht eine systematische und komprimierte Auseinandersetzung mit den allen Verfahren gemeinsamen Grundlagen wie beispielsweise die zu verwendenden Koordinatensysteme oder die notwendigen Genauigkeitsanforderungen. Gleichzeitig können dadurch bei der Entscheidungsfindung über die einzusetzenden Methoden die Zwänge vermieden werden, denen einige Bauaufnahmemethoden besonders in der Datenverarbeitung und Ergebnisdarstellung unterliegen.

Mit dem Handaufmaß und den verschiedenen tachymetrischen und photogrammetrischen Aufnahmeverfahren werden die einzelnen Bauaufnahmemethoden nicht nur in ihren Prinzipien dargelegt, sondern

auch mit praktischen Hinweisen für eine sachgerechte Anwendung für die Bauaufnahme versehen. Darüber hinaus wird jedes Verfahren in seinem Nutzungspotenzial für die Bauaufnahme bewertet.

Abschließend wird eine methodenintegrierende, interdisziplinäre Bauaufnahmestrategie formuliert, in der vor dem Hintergrund eines methodenübergreifenden Modellierungsverständnisses die Stärken der einzelnen Bauaufnahmemethoden zu einem umfassenden Bauaufnahmekonzept zusammengefasst werden, um alle zur Verfügung stehenden Ressourcen nutzbringend in die Bauaufnahme einbringen und letztlich eine höhere Qualität der Bauaufnahme in allen Anwendungsbereichen sicherstellen zu können.

2 Vom Original zum Modell

Die Verwendung des Modellbegriffs in architektonischen Zusammenhängen erfolgt in der Regel ohne Rückgriff auf einen modelltheoretischen Hintergrund in sehr praktischer Art und Weise. Fast ausnahmslos werden in der Architektur Modelle zur Veranschaulichung von Ideen im Entwurfsprozess eingesetzt. In der kreativen Entwurfsphase dient das gebaute Modell dem Architekten als Realisierung seiner Entwurfsideen, die nach außen vermittelt werden müssen, um einerseits eine Darstellung des Entwurfs präsentieren zu können und andererseits mit Hilfe des Modells den Entwurf weiterentwickeln zu können. Die gleiche Funktion erfüllt das Modell, wenn es nicht als reales dreidimensionales Objekt gebaut, sondern als virtuelles Computermodell oder in Form von zweidimensionalen Plänen ausgeführt wird.

Die Bauaufnahme wird vielfach als Umkehrprozess des Entwerfens gesehen [SCHULLER, 1993; WANGERIN, 1992]. Ausgehend von der vorgefundenen Architektur sollen unter Einsatz von verschiedenen Bauaufnahmeverfahren die wesentlichen Charakteristiken des Bauwerks erfasst werden. Hierbei dienen die erstellten Pläne, Textbeschreibungen und andere Darstellungen als Modell für das reale Originalbauwerk. Der vielschichtige Vorgang des Modellierens wird nur in Ausnahmefällen bewusst vorgenommen, obwohl die Beschreibung von Eigenschaften des Originals in einem Modell immer unter verschiedensten Bedingungen stattfindet.

Einfach strukturierte Bauwerke können meist ohne großen Aufwand in ihrer komplexen, originalen Gesamtheit erfasst, modelliert und verstanden werden. Doch die wenigsten Gebäude sind transparent und leicht überschaubar aufgebaut. Oft sind viele Raumgruppen unterschiedlichster Geometrie anzutreffen, als Baustoffe wurden die vielfältigsten Materialien verwendet, die an der Oberfläche sichtbar in Erscheinung treten. Bautechnik und konstruktive Zusammenhänge erschließen sich nur dem fachkundigen Betrachter, und die Funktion von Gebäuden ist auch ohne offenkundige Bauwerksveränderungen durch einen ständigen Wechsel geprägt. Auch ein scheinbar leicht einzuordnender Baukörper kann bei genauerer Untersuchung spezielle Charakteristiken aufweisen, wie z.B. durch Umbaumaßnahmen verdeckte Originalteile aus einer früheren Bauphase [MADER, 2001]. Wesentliche Kenntnisse über ein Bauwerk können Archivmaterial oder andere Quellen ergänzend liefern. Die Liste der Eigenschaften, die einem Bauwerk zugeordnet werden können, ließe sich beliebig erweitern, ohne dass ihre Vollständigkeit a priori als gesichert gelten kann. Alle mit einem Bauwerk verbundenen Eigenschaften können als Attribute des Bauwerks bezeichnet werden.

Die Qualität eines Bauwerksmodells wird sowohl von der Struktur des Originals als auch von den Randbedingungen im Modellierungsprozess beeinflusst. Soll das Modell seine Funktion als objektiver Informationsträger erfüllen, muss eine genaue Kenntnis über die Zusammenhänge beim Übergang vom Original auf das Modell vorliegen.

Diesem besseren Verständnis des Modellierungsvorgangs soll der nachfolgende Abschnitt über den allgemeinen Modellbegriff in seiner wissenschaftstheoretischen Bedeutung und seiner Relevanz für die Bauaufnahme dienen. Dabei wird keine differenzierte Auseinandersetzung mit diesem selbstständigen Forschungsgebiet vorgenommen, vielmehr werden einige für die nachfolgenden Betrachtungen wichtige Aspekte herausgegriffen. Probleme der Wahrnehmung oder Wissensvermittlung werden ergänzend angesprochen, soweit sie für den Vorgang der Modellierung wichtig sind. Der Betrachtung der übergeordneten Prozesse, die auf die Modellbildung vom Original zum Modell einwirken, soll hier die größte Aufmerksamkeit geschenkt werden, da besonders der Modellbegriff für die Bewertung der verschiedenen Bauaufnahmeverfahren in den unterschiedlichen Disziplinen eine zentrale Stellung einnimmt. Anhand dieses Begriffs können die Anforderungen an eine Bauaufnahme einschließlich der verbundenen Schwierigkeiten anschaulich verdeutlicht werden.

2.1 Der allgemeine Modellbegriff

Die Bedeutung des Begriffs 'Modell' wird in den meisten Zusammenhängen als etwas verstanden, das für einen bestimmten anderen Gegenstand, eine Idee oder einen komplexen Zusammenhang steht. In diesem umgangssprachlichen Sinne nimmt das Modell die Position des Originals ein; durch das Modell soll das Original veranschaulicht werden [STACHOWIAK, 1989]. Dabei wird im täglichen Umgang mit Modellen

überwiegend unbewusst akzeptiert, dass Modelle immer nur einen bestimmten Aspekt des Originals enthalten. Dennoch wird vielfach versucht, möglichst wirklichkeitsgetreu das Original im Modell abzubilden[1].

Wird der Modellbegriff im wissenschaftlichen Sinn verwendet, so müssen die Eigenschaften von Modellen einschließlich der Bedingungen ihrer Entstehung und Verwendung näher definiert werden. Die grundlegenden Aussagen über Modellierung in wissenschaftlichen Zusammenhängen sind in der so genannten 'Allgemeinen Modelltheorie' formuliert worden [STACHOWIAK, 1983, 1989]. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf die in der 'Allgemeinen Modelltheorie' entwickelten Überlegungen.

Für das Verständnis von Modellierungsprozessen bildet der Rückgriff auf die Ursprungsbedeutung des deutschen Wortes 'Modell' eine erste Orientierung. Modell ist abgeleitet vom lateinischen 'modulus' und kann mit den Bedeutungen Art und Weise, Form, Vorschrift sowie Maß und Maßstab übersetzt werden [STACHOWIAK, 1989]. Durch diese Ursprungsbedeutung werden bereits wichtige Eigenschaften des Modellbegriffs charakterisiert. Die Objekteigenschaften sollen in ihrer bestimmenden Art und Weise beschrieben werden. Sie äußern sich in den anzutreffenden Formen, die über festgelegte Vorschriften abzuleiten sind. In welchem Umfang und mit welcher Genauigkeit dieses geschieht, kann überwiegend durch den verwendeten Maßstab bestimmt werden. Durch ein Modell werden demnach definierte Eigenschaften in ihrer Größe wie in ihren relativen Verhältnissen und Beziehungen beschrieben. Dabei kommt es sowohl auf die qualitative wie quantitative Aussage an.

Wird ein Modell vom Original angefertigt, so sind die wichtigen Einflüsse, die auf den Vorgang des Modellierens einwirken, zu berücksichtigen. Diese die Modellierung beeinflussenden Randbedingungen lassen sich in einem Frageschema sehr gut zusammenfassen [STACHOWIAK, 1983]:

> Wovon,
> von wem und für wen,
> wann
> und für welchen Zweck

soll die Modellierung ausgeführt werden?

Durch die Beschäftigung mit diesen Fragen sollen die Voraussetzungen für den Modellierungsvorgang deutlich herausgearbeitet werden. Dabei wird hinterfragt, welchen Stellenwert die Objekte und die an der Modellierung beteiligten Subjekte einnehmen und in welchem Zeitbezug und Zweckzusammenhang die Modellbildung stattfindet. Soll das Objekt in seiner Gesamtheit abgebildet werden oder ist die Konzentration auf klar definierte Teilbereiche ausreichend? Durch welche Personen wird die Modellierung vorgenommen und von welchen Personen soll sie benutzt und verstanden werden? Wie wirken sich zeitlich bedingte Einflüsse auf die Interpretation von Original und Modell aus? Welchem Zweck soll die Modellierung dienen und wie wird die Auswahl der Objektattribute während des Modellierungsvorganges durch diesen Zweck bestimmt?

Diese Fragen, ob bewusst oder unbewusst gestellt, führen zu einem Modell, das immer nur Teilaspekte des Originals enthält. Es gibt Attribute des Originals, die im Modell nicht wiederzufinden sind, wie es auch Eigenschaften des Modells gibt, die im Original nicht enthalten waren (Abb. 2.1). Ein Informationsverlust kann dabei sowohl durch Unzulänglichkeiten in der Methode der Erfassung, z.B. durch eine zu geringe Messgenauigkeit, als auch durch eine subjektiv oder objektiv vorgenommene Auswahl der Objektattribute entstehen. In der Regel soll während des Modellierungsvorganges eine größtmögliche Übereinstimmung zwischen Original und Modell erreicht werden. Die Übereinstimmung kann auch auf Teilbereiche des Originals beschränkt bleiben. Nach Möglichkeit sind die Aspekte des Modells zu minimieren, die nicht dem Original entsprechen. Diese im Modell zusätzlich enthaltenen Informationen führen zu Fehlschlüssen vom Modell auf das Original. Für alle Modellierungen muss daher gefordert werden, dass eine Transformation vom Original auf das Modell im Hin- wie im Rückweg gilt [MÜLLER, 1983].

[1] Von dieser Faszination lebt die Spielwarenindustrie, die Nachbildungen bis ins kleinste Detail herstellt.

Abb. 2.1: Modellierungsschema [nach: STACHOWIAK, 1989]

Die Reduktion des Inhalts vom Original auf das Modell kann je nach Funktionsabsicht des Modells größer oder kleiner ausgeprägt sein, kann ungewollt oder gewollt vollzogen werden. Erst das Herausarbeiten des Wesentlichen durch Weglassen von für den Zweck unwichtigen Informationen lässt bewertende Aussagen zu und dient somit dem Modellierungszweck; Reduktion ist auf der einen Seite der Verlust von inhaltlichen Informationen, dessen Wert auf der anderen Seite durch einen Gewinn an qualifizierten Aussagen über den Bedeutungszusammenhang aufgewogen werden kann.

Das Erfassen der Wirklichkeit durch eine Modellbildung erfolgt immer selektiv und unvollständig. In unterschiedlichen Modellen können verschiedene Teilbereiche des Originals abgebildet werden. Die Modellierung von ausgewählten Attributen in Teilmodellen kann eine besondere Qualität darstellen, wenn die verschiedenen Ausschnitte des Originals zwar in getrennten Modellen abgebildet werden, aber eine koordinierte Integration aller Einzelaspekte in einem Gesamtmodell erfolgt. Eine gut abgestimmte Zusammenführung der einzelnen Sichtweisen wird besonders dann notwendig, wenn nur in hoher Spezialisierung eine Auseinandersetzung mit den vielfältigen Eigenschaften des Originals erfolgen kann. Hier erhält die wissenschaftliche Arbeitsweise ihre herausragende Bedeutung, wenn die besonderen Erkenntnisse der Spezialmodelle in einen umfassenden Rahmen gestellt werden, der vergleichende Aussagen zulässt und Möglichkeiten für Querbezüge bei der Modellbeurteilung erlaubt [MÜLLER, 1983]. Das aus Einzelmodellen mit dichten Detailinformationen zusammengesetzte Bild ist wesentlich leistungsfähiger als ein von einer Person aufgestelltes Gesamtmodell.

Besteht das Gesamtmodell aus Teilmodellen, die zusammengeführt werden müssen und in denen verschiedene subjektive Sichtweisen auf das Objekt vereinigt werden sollen, so erfordert die zu leistende Integration eine genaue Kenntnis der im Einzelmodell durchgeführten Modellierungsprozesse.

Bei komplexeren Modellen wird besonders deutlich, dass eine gemeinsame Sprache in Bezug auf die Ausrichtung der Modellierung gefunden werden muss. Nicht immer verfolgen die Modellbildner die gleichen Ziele wie die Modellnutzer, oft werden die erzielten Ergebnisse aufgrund von fehlender Verständigung zwischen den Beteiligten nicht optimal genutzt. Für eine sinnvolle Nutzung der aufgestellten Modelle ist demnach eine klare Definition der Modellierungsziele einschließlich der Form ihrer Vermittlung notwendig. Modellbildung ist auch als Kommunikationsprozess aufzufassen, bei dem der Abstimmung zwischen den an der Modellierung beteiligten Personen eine herausragende Bedeutung zukommt. Diese Qualität muss auch über den Zeitpunkt der Modellierung hinaus reichen, sodass die Modelle auch in späteren Zeiten verstanden und genutzt werden können.

Trotz einer vielfach anzutreffenden arbeitsteiligen und spezialisierten Arbeitsweise darf sich die einzelne Modellbildung nicht nur auf ein isoliertes Attribut beschränken. Die Modellierung muss immer den gesamten Zusammenhang des umfassenden Originals berücksichtigen. Modellierung erfolgt immer als ganzheitlicher Ansatz, in dem das Modell je nach Zweck ein komplexes System darstellt, durch das übergreifende Beziehungsgefüge wiedergegeben werden [MÜLLER, 1983; PITTIONI, 1983].

Modellierungsvorgänge sind weiterhin nach pragmatischen Gesichtspunkten durchzuführen. Nur wenn mit dem Modell ein praktischer Vorteil gegenüber dem Original erzielt werden kann, erfüllt das Modell seine Funktion [PITTIONI, 1983]. Die identische Modellierung des Originals im Maßstab 1:1 ist besonders bei großen Objekten nicht erstrebenswert, weil dann das Modell aufgrund seiner schieren Größe ebenso wenig handhabbar ist wie das Original. Dementsprechend stellen die meisten Modelle eine Verkleinerung des Originals dar. Die vollständige Abbildung des Originals im verkleinerten Maßstab ist gleichfalls ohne

jeden Nutzen, wenn das Modell aufgrund einer zu großen Informationsdichte nicht mehr sinnvoll gelesen werden kann und somit die Attribute des Originals nicht aus dem Modell abzuleiten sind.

Weiterhin nützlich für das Arbeiten mit Modellen im Bereich der Bauaufnahme ist die Kenntnis der verschiedenen Arten, in denen Modelle auftreten können. Als Produkte eines Modellierungsprozesses sind drei Hauptarten von Modellen in verschiedenen Ausprägungen zu nennen [STACHOWIAK, 1983]:

Grafische, technische und semantische Modelle (Abb. 2.2).

Die grafischen Modelle lassen sich weiter in Bildmodelle und Darstellungsmodelle unterteilen. Hauptmerkmal der Bildmodelle ist ihre bildhafte Bedeutung, mit der Eigenschaften des Originals unmittelbar und ohne einen besonderen, vermittelnden Zeichenschlüssel aus dem Modell abzuleiten sind. Zu den Bildmodellen zählen alle Bilder und Abbildungen, auch wenn diese eine schematisierte Form aufweisen sollten.

Für das Arbeiten mit den Darstellungsmodellen ist eine ausdrückliche Erklärung der verwendeten Zeichen unerlässlich, da hier die Informationen verschlüsselt übermittelt werden. Typische Vertreter der Darstellungsmodelle sind Diagramme, Darstellungsgraphen und Flussdiagramme.

Technische Modelle sind durch dreidimensionale und materielle Repräsentationen gekennzeichnet. Im Kontext der Bauaufnahme nehmen nur die mechanischen, d.h. tatsächlich gebauten Modelle und die Computermodelle eine relevante Stellung ein.

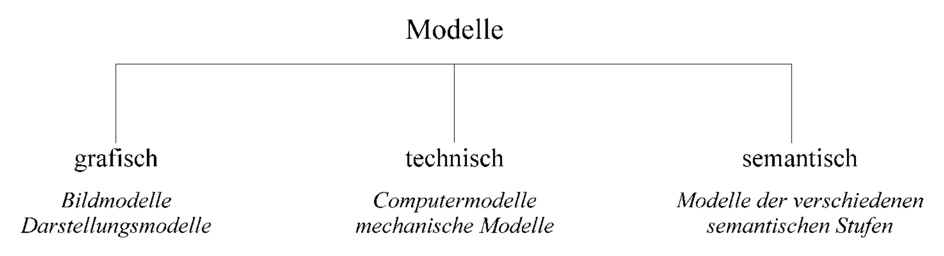


Abb. 2.2: Modellarten [Grundlage: STACHOWIAK, 1983]

Während die grafischen und technischen Modelle überwiegend ihre Bedeutung als Endprodukt einer durchgeführten Modellierung beziehen, leisten die semantischen Modelle darüber hinaus einen Beitrag zum allgemeinen Verständnis des Modellierungsvorganges. Semantische Modelle sind in der Form der Wissensvermittlung mit den Darstellungsmodellen vergleichbar. Sie sind ohne eine genaue Kenntnis über den verwendeten Code nicht zu verstehen. Semantische Modelle bedienen sich überwiegend der Sprachzeichen, wobei diese nicht nur im phonetisch-gesprochenen Sinne, sondern auch in Textgestalt eingesetzt werden. Während des ersten Schritts zur umfangreichen Modellierung, der denkenden Beschäftigung mit dem Original, nehmen die sprachlich semantischen Modelle eine besondere Stellung ein. Da Sprache und Text die primären Instrumente zur Vermittlung von abstrakten und konkreten Inhalten unserer Kultur darstellen [SCHMIDT, W., 1988], erfolgt auch die erste innere Modellierung vielfach durch ein sprachlich semantisches Modell. Ergänzend können weitere Formen des Denkens zur ersten Modellierung eingesetzt werden. Für die strukturierte Betrachtung der semantischen Modelle lässt sich ein Stufensystem der semantischen Modelle verwenden (Abb. 2.3).

Auf der nullten semantischen Stufe werden die materiellen Informationen des Originals eingeordnet. Sie dienen als Grundlage für das Ableiten der Modelleigenschaften in den internen semantischen Modellen der nachfolgenden, ersten semantischen Stufe. Die Informationsgewinnung innerhalb der internen Modelle kann in ihrer einfachsten Form durch reine Perzeption erfolgen [STACHOWIAK, 1983], bei der den aufgenommenen Signalen eine feste Bedeutung zugeordnet wird. Hier wird Bekanntes wiedererkannt und aneinandergereiht in den neuen Zusammenhang gestellt. Diese Perzeption kann aber auch kommunikativ durch Beteiligung mehrerer Personen geleistet werden. Auf der internen semantischen Stufe wird unter Einsatz der inneren Kombinationsmodelle wie der inneren Derivationsmodelle mehr über das Original erfahren, da hier die erfasste Information zu komplexeren Gebilden kombiniert oder für die Derivations-

modelle aus diesen Informationen neue Aussagen abgeleitet werden können. Zu den derivativen Operationen gehören z.B. Abstraktion, Reduktion, Induktion.

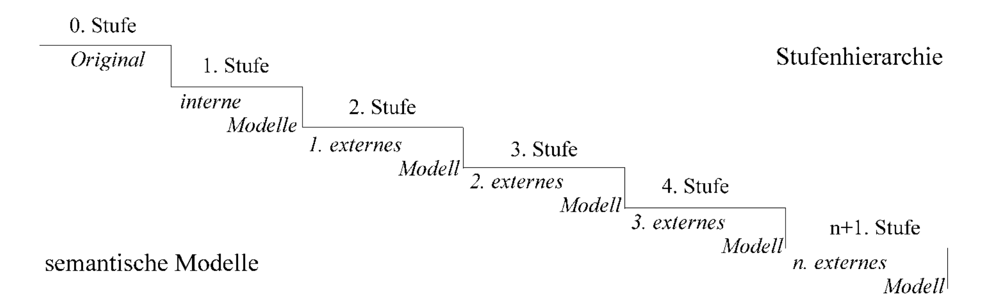


Abb. 2.3: Stufen der semantischen Modellierung [Grundlage: STACHOWIAK, 1983]

Die erste Stufe ist Grundlage für alle weiteren semantischen Modelle der folgenden Stufen. Es können beispielsweise in einem folgenden Schritt sprechsprachliche Modelle erzeugt werden, aus denen anschließend schriftsprachliche Modelle abgeleitet werden. Wie viele Modelle auf diesen externen Stufen entstehen können, ist vom Objekt und Modellierungsvorgang abhängig.

Anhand der semantischen Modelle tritt eine besondere Eigenschaft von Modellen sehr deutlich hervor: Neben Originalen können auch Modelle die Grundlage für weitere Modellierungsvorgänge darstellen. Dienen Modelle als Basis für Kommunikationsprozesse, so wird bei der Interpretation des vorliegenden Modells meist unbewusst eine erneute Modellierung auf der folgenden Stufe durchgeführt. Das abgeleitete Modell weist einen erneuten Informationsverlust gegenüber dem zu Grunde liegenden Modell auf. Dieser ist jedoch in Kauf zu nehmen, da nicht alle Fragestellungen direkt am Original analysiert werden können. So werden anhand von Modellen vielfach wissenschaftliche Fragestellungen untersucht, die in einem weiteren Modellierungsschritt zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnismodellen führen können.

Zusammenfassend kann unter Berücksichtigung der Randbedingungen im Modellierungsprozess und unter Kenntnis der für die Modellierung zur Verfügung stehenden Modellarten festgestellt werden, dass Modelle immer nur Teilaspekte des Originals abbilden können. Wesentliche Gründe sind die bewusste Auswahl der Objektattribute und eine mit jeder Erfassung verbundene Ungenauigkeit in der Messung. Der Zusammenhang zwischen einer Auswahl der Objektattribute und dem Zweck der Modellierung wurde schon herausgestellt. Die Notwendigkeit von Messungen im Rahmen von Modellbildungen – insbesondere von Bauaufnahmen – muss hier nicht näher begründet werden; doch nicht immer wird erkannt, dass Messen nicht nur eine quantitative Erfassung, sondern auch die qualitative Beschreibung von Eigenschaften darstellt. Allgemein ausgedrückt kann Messen als der Vorgang beschrieben werden, der unter Einsatz eines Werkzeuges die Unterscheidung von verschiedenen Eigenschaften ermöglicht [BOUDON, 1991]. Entsprechend dieser allgemeinen Definition müssen alle Attribute des Originals gemessen werden; sollten nicht für alle Eigenschaften Vergleichsmaßstäbe existieren, muss ein neuer Maßstab zur Bewertung der Attribute entwickelt werden[2]. Nur ein Werkzeug ist dabei der sich auf das Vergleichsmaß Meter beziehende Zollstock, mit dem die geometrischen Eigenschaften erfasst werden können. Wenn im Zusammenhang von Modellierung auf die Messgenauigkeit eingegangen wird, ist neben dem metrischen Quantifizieren auch jede weitere Erfassung von Eigenschaften in ihrer Genauigkeit zu beurteilen. Hiernach muss der Begriff Ungenauigkeit nicht nur auf die Qualität der Messungen bezogen werden, sondern unter das Kriterium Ungenauigkeit lassen sich alle Attribute einordnen, die unbewusst und ungewollt nicht oder nicht korrekt erfasst worden sind.

[2] Galilei: 'Man muss messen, was messbar ist und messbar machen, was zunächst nicht messbar ist.' Aus: Opere, Band IV, S. 171 in der Ausgabe von E. Alber, 1842. Galilei hat dies geäußert als Begründung, warum das Abstrakte nicht zum Konkreten passe. Es fehle an hinreichenden Messungen. Aufgeführt in [MÜLLER, 1983].

2.2 Der Modellcharakter von Bauaufnahmen

Im vorangegangenen Kapitel sind die verschiedenen Eigenschaften und Randbedingungen von Modellierungsprozessen erläutert worden. Diese der 'Allgemeinen Modelltheorie' zuzuordnenden Überlegungen sind grundsätzlich auf alle wissenschaftlichen Fragestellungen anwendbar. Inwieweit lassen sich die Begriffe 'Modell' und 'Modellierung' auf die Problematik der Bauaufnahme anwenden, sodass die Vorgänge bei der Bauaufnahme besser eingeordnet werden können und mit dem gewonnenen Verständnis für Modellierungsprozesse eine neue Qualität der Bauaufnahme erzielt werden kann? Sind Bauaufnahmen als Modellierungsprozesse zu charakterisieren?

Zur Einführung des allgemeinen Modellbegriffs ist auf die Ursprungsbedeutung des Wortes 'modulus' zurückgegriffen worden. Herausragende Beispiele für weitere etymologische Ähnlichkeiten zum lateinischen 'modulus' lassen sich in der Architektur in vielfältigen Zusammenhängen finden.

Besonders in der antiken Architektur ist das 'modul' als Grundeinheit für die Proportionalität von Bauten anzutreffen [VIOLLET-LE-DUC, 1868]. Hierbei wird ein Grundbauteil (z.B. Säulendurchmesser) als Basisgröße für alle weiteren Bauglieder verwendet. Durch strenge Vervielfältigung des Maßes des Grundbauteils werden die übrigen Bauglieder in ihren Größen dimensioniert. Vielfach soll durch Bauaufnahmen nachgewiesen werden, dass ein Bauwerk durch ein bestimmtes Modulmaß proportioniert ist[3].

Ein wichtiges gestalterisches Element in der Architektur aller Zeiten ist die Wiederholung von ganzen Bauwerken oder Baugliedern in neuen Zusammenhängen. Als ein herausragendes Beispiel einer strengen Anwendung von Modellen sind die klassischen Säulenordnungen zu nennen. Ob in der dorischen, ionischen oder korinthischen Ausprägung, bei Verwendung der klassischen Ordnungen wurde die Form nahezu unverändert beibehalten während die Größe im neuen Zusammenhang variiert werden konnten. Verschiedene computergestützte Bauaufnahmeprogramme haben sich genau dieser Eigenschaft bedient, um Bauwerke unter Verwendung automatischer Messroutinen vermessen zu können[4].

Allein diese beiden Beispiele zeigen, wie eng die Architektur und damit die Bauaufnahme einschließlich der Ergebnisdarstellung mit dem Modellbegriff verbunden sind. Entscheidender ist aber, den Nachweis zu erbringen, dass das Verfahren der Bauaufnahme mit dem Vorgang der Modellierung charakterisiert werden kann.

Notwendige Voraussetzung für die Durchführung einer Modellierung ist die Existenz eines Originals, das durch die Modellierung in seinen Eigenschaften beschrieben werden soll. Dieses Original kann in der 'Allgemeinen Modelltheorie' sehr unterschiedliche Zustände aufweisen. Entsprechend dem breiten Anwendungsgebiet können z.B. physikalische oder biologische Systeme modelliert werden. Während der Bauaufnahme sind große Baukomplexe, einzelne Bauwerke oder kleine Bauteile die Objekte der Modellierung, von ihnen sind die Modelle zu erstellen, sind Beschreibungen zu formulieren, die es ermöglichen, die komplexen Zusammenhänge zu verstehen. Mit dem Bauwerk ist ein Original im Sinne der Modelltheorie vorhanden, das so umfassend und vielfältig strukturiert ist, dass eine Modellierung für das Verständnis des Baukörpers neue Erkenntnisse liefern kann.

Bei einer Bewertung der durch die Bauaufnahmeverfahren erzielten Modellierungsergebnisse ist nach den Kriterien der 'Allgemeinen Modelltheorie' differenzierter vorzugehen. Auch wenn die erstellten Zeichnungen, Pläne und Fotografien in den meisten Fällen ohne Zweifel in die Klasse der grafischen Modelle einzuordnen sind, so kann doch bezweifelt werden, ob der Vorgang der reinen Abbildung bereits als Modellierung eingestuft werden darf. Ist es möglich, durch Abbildungen den Systemcharakter des Modellierungsprozesses zu gewährleisten? Die grafischen Repräsentationen wie Punkte, Linien oder Flächen stellen für sich genommen keine umfassende Modellierung eines Systems dar. Doch ermöglicht die Interpretation der im grafischen Modell anzutreffenden Elemente eine höherwertige Erkenntnis, die anschaulich mit Hilfe eines Beispiels aus der Statik verdeutlicht werden kann: Die Linien von Stütze und Riegel sind auf den ersten Blick reine Abbildungen, die erst durch die Betrachtung mit dem notwendigen Fach-

[3] vgl. z.B. die Arbeiten über griechische Tempel [MERTENS, 1984] oder meroitische Architektur [HINKEL, 1996]

[4] Diese Arbeitsweise wird eingesetzt in dem System PAROS [FLORENZANO et al., 1996], vgl. Kap. 5.3.4.2, 'Mehrbildauswertung und CAD'.

wissen das statische System eines Bauwerks offenbaren und somit einen übergeordneten Zusammenhang repräsentieren. Insofern ist bereits die fotografische Abbildung als Modellierungsprozess einzuordnen.

Die überwiegende Zahl der Bauaufnahmepläne geht über die rein bildhafte Darstellung hinaus. In diese Pläne werden im Rahmen der Bauaufnahme ergänzende Informationen aufgenommen: die Funktion von Bauteilen, Baufugen oder wichtige bauhistorische, konstruktive und andere Beobachtungen werden in den Bauaufnahmeplänen vermerkt, sie werden durch Zeichensymbole in Form der Darstellungsmodelle dargestellt. Somit ist diese Art der Bauaufnahme eine Modellierung von umfassenden Systemen, bei denen die Bauaufnahmepläne sowohl offensichtlich bildhafte Informationen als auch komplexe Eigenschaften in schematischer Abbildung enthalten.

Modellierungsprozesse sind besonders durch die mit ihnen verbundenen Randbedingungen geprägt. Auf das Ergebnis von Bauaufnahmen üben alle einwirkenden Faktoren einen wichtigen Einfluss aus. Dabei bezeichnen genau die Fragen, die in der 'Allgemeinen Modelltheorie' formuliert worden sind, die in der Bauaufnahme anzutreffenden Probleme:

Bauaufnahmen werden in den unterschiedlichsten Zusammenhängen und unter den verschiedensten Fragestellungen ausgeführt. Fast alle Verfahren, die sich auf der Grundlage einer Geometrieerfassung mit der Beschreibung oder Modellierung von Architektur beschäftigen, werden unter dem Begriff Bauaufnahme subsummiert. Dazu zählt die Geometrieermittlung als Datenbasis für ein Facility Managementsystem, wie die vielfältigen Gebäudeerfassungsmethoden für Sanierungszwecke ebenso wie eine Bestandserfassung für denkmalpflegerische Zielstellungen und die umfassende Bauaufnahme unter bauforscherischer Fragestellung. Die beabsichtigte Zielstellung der Bauaufnahme allerdings wird zwischen den Beteiligten nicht immer klar herausgearbeitet, sodass eine Modellierung für den Zweck entweder zu detailliert ausgeführt wird oder eine Überbeanspruchung der Bauaufnahmeergebnisse erfolgt. Nicht immer bleibt die Verwendung der erstellten Bauaufnahmezeichnungen auf den Bereich des ursprünglich definierten Zweckbezugs beschränkt. So werden z.B. nicht selten Pläne eines einfachen Sanierungsaufmaßes für eine denkmalpflegerische Bewertung herangezogen [MADER, 1982] und damit im Nachhinein eine Anforderung an die Bauaufnahmeergebnisse formuliert, die diese aufgrund des zuerst definierten, einfachen Zweckes nicht erfüllen können. Für eine erfolgreiche Bauaufnahme ist die Definition der Zielstellung eine notwendige Voraussetzung.

Eine nicht weniger wichtige Stellung innerhalb der Bauaufnahme nehmen die an der Modellierung beteiligten Subjekte ein. Die Ergebnisse von Bauaufnahmen sind maßgeblich von subjektiven Einflüssen während der Modellierung geprägt. Im Rahmen der 'Allgemeinen Modelltheorie' ist für die subjektive Erfassung im Modellierungsprozess die erste semantische Stufe als interne Modellierung definiert worden. Auf dieser internen Stufe erfolgt die Modellierung vor dem persönlichen Hintergrund des Ausführenden. Auch wenn die modernen wissenschaftlichen Methoden so weit entwickelt sind, dass auf ihrer Grundlage eine objektive Bauaufnahme möglich scheint, so ist der subjektive Einfluss dennoch nicht zu vernachlässigen. Die zu erfassenden Attribute werden durch die subjektive Sicht auf das Bauwerk ausgewählt, modelliert und dargestellt. Es werden häufig nur die subjektiv erkennbaren Eigenschaften wahrgenommen, das Bauwerksoriginal wird nur mit einigen Teilaspekten vom Beobachter registriert und anschließend in seinem ganz persönlichen Modell abgebildet. Als besonders problematisch ist der Erfahrungshorizont der Bauaufnehmenden zu beurteilen, wenn berücksichtigt wird, dass die Wahrnehmung des Bauwerks durch die Bauaufnahme nicht unbeeinflusst von den bereits bestehenden Vorstellungen über Architekturformen im Allgemeinen und das Bauwerk im Besonderen erfolgen kann.

Im Rahmen der Wahrnehmungstheorie hat das Vorwissen über den Modellierungsgegenstand zum Verständnis der einzelnen Informationen eine besonders wichtige Bedeutung [DRANSCH, 1997]. Die Verarbeitung von neuen Informationen erfolgt besser, je mehr Vorwissen über den Gesamtzusammenhang vorhanden ist, sodass sich viele Anknüpfungspunkte zwischen einer neuen, unbekannten Information und bestehenden übergeordneten Vorstellungen finden lassen. Die Verknüpfung von neuen Wahrnehmungen mit vorhandenem Wissen ist eines der wesentlichen Werkzeuge, durch die erfasste Informationen in das Langzeitgedächtnis der wahrnehmenden Person aufgenommen wird. Weitere nützliche Strategien zur besseren Weitergabe von neuen Informationen aus dem Kurzzeitgedächtnis an das Langzeitgedächtnis sind die mehrfache Erfassung über verschiedene Sinnesorgane oder die Elaboration der Informationen in Form von Niederschreiben oder auch Zeichnen.

Das subjektive Vorwissen ist notwendig für die Verarbeitung von neuen Informationen. Gleichzeitig ist aber auch eine kritische Bewertung vorzunehmen, denn das persönliche Vorwissen ermöglicht nicht nur die richtige Einordnung der aufgenommenen Informationen. Es ist vielmehr nicht auszuschließen, dass bestehende Vorstellungen das Erkennen von bisher unbekannten Sachverhalten auch erschweren können.

Im Zusammenhang von Bauen und Erkennen ist durch Boudon die Abhängigkeit zwischen Vorstellung und Wahrnehmung architektonischer Räume aufgezeigt worden [Boudon, 1991]. Dabei wird dargelegt, dass die Wahrnehmung von Architektur durch das Vorwissen und die bestehende Vorstellung von Architektur beeinflusst wird. Die Bewertung der Architektur kann nur unter Kenntnis und Berücksichtigung der bestehenden, subjektiven Architekturvorstellungen erfolgen. Dies gilt sowohl für die Vorstellungen des entwerfenden Architekten, die sich in dem Bauwerk widerspiegeln, wie auch für die des rezipierenden Betrachters. Angewendet auf die Bauaufnahme macht diese Schlussfolgerung die besondere Problematik zwischen Subjektivität und Objektivität wie zwischen neutraler Erfassung und wertender Einordnung der Bauwerksinformationen deutlich. Für die richtige Bewertung der sichtbaren Architekturformen ist Fachwissen unerlässlich, doch gleichzeitig wird gerade aufgrund des Vorwissens eine Interpretation geleistet, die mehr durch die subjektiv bestehende Vorstellung wie auch durch persönliche Interessen geprägt sein kann, als durch die am Bauwerk zu beobachtenden Informationen. Bauaufnahme ist somit immer durch die subjektive Architekturkenntnis des Bauaufnehmenden beeinflusst. Für die Bauaufnahme gilt es, diesen subjektiven Einfluss für die objektive Formerkennung zu nutzen und für die wertende Interpretation während der Bauaufnahme auszuschließen[5].

Eine Steigerung erfährt der Einfluss der Bauaufnahmesubjekte, wenn das Ergebnis einer weiteren Person zugänglich gemacht werden soll, wenn die Bauaufnahmepläne Grundlage für einen Kommunikationsprozess darstellen. Obwohl hier nicht genauer auf die Theorien zur Kommunikation eingegangen werden soll, ist doch wichtig herauszustellen, dass alle an der Bauaufnahme Beteiligten über den gleichen Schlüssel zum Verwerten der erfassten, modellierten und dargestellten Informationen besitzen sollten [Hake, Grünreich, 1994]. Nicht alle Informationen eines Bauwerks können kodierungsfrei modelliert werden. Viele Objektattribute sind nur durch eine Modellierung nach Art der Darstellungsmodelle zu erfassen, die eine Erklärung der Bedeutung des Dargestellten erfordert. In Plänen kann diese Funktion durch eine die verwendeten Zeichen erklärende Legende erfüllt werden. Doch selbst bei gleichem Zeichenschlüssel werden die modellierten Informationen vor einem subjektiven Hintergrund eingeordnet und interpretiert. Besonders bei der Beteiligung unterschiedlicher Disziplinen sind von einander abweichende Interpretationen der selben Darstellung nicht zu vermeiden.

Da die subjektive Ebene während der Durchführung von Bauaufnahmen nur schwer auszumachen ist, muss ihr Einfluss bei der Bewertung von Bauaufnahmeplänen hinreichend berücksichtigt werden. Dabei ist zu beachten, dass bei komplexeren Gebäuden und differenzierter Fragestellung die subjektiven Bedingungen eine größere Bedeutung gewinnen als bei einfachen Bauten, bei denen z.B. nur die wichtigen formgebenden Geometrieelemente modelliert werden sollen[6].

Innerhalb der allgemeinen Modellierungsvorgänge wurde der Zeitbezug als einwirkendes Kriterium genannt. Für die Bauaufnahme kann eine zeitlich bedingte Auswirkung in zweierlei Hinsicht festgestellt werden. Zum einen wirken sich zeitliche Einflüsse auf die Formulierung des Ziels der Bauaufnahme aus. Die durch Bauaufnahme zu untersuchenden Fragestellungen haben sich kontinuierlich auf fast allen Bereichen gewandelt [Eckert, 1987]. Zum anderen entstehen Pläne und Beschreibungen unter Verwendung des Vokabulars der jeweiligen Zeit. Im Zusammenhang mit der Einführung der semantischen Modelle im vorangegangenen Kapitel ist auf die Bedeutung von Sprache für die Modellbildung eingegangen worden. Die verwendete Sprache – nicht nur in der Textform, sondern auch in ihrem bildhaften Ausdruck – kann nicht losgelöst von ihrer Entstehungszeit beurteilt werden. Dabei können Textstellen nach heutigen Erfahrungen interpretiert eine andere Bedeutung als zum Zeitpunkt der Formulierung erhalten[7]. Bei

5 vgl. Kap. 6.1, 'Eine methodenintegrierende, interdisziplinäre Bauaufnahmestrategie'

6 Beispielsweise wird die Bauaufnahme eines einfachen, modernen Kastenfensters unabhängig von der ausführenden Person immer das gleiche Ergebnis erbringen, wogegen die Erfassung eines gotischen Kirchenfensters völlig unterschiedliche Resultate ergeben kann, weil die komplizierteren Formen auf unterschiedlichste Weise modelliert werden können.

7 Als Beispiel sei hier die Beschreibung Ionischer Kapitelle durch Marcus Vitruvius Pollio genannt [Vitruv, 1987]: "Sie nahmen die weibliche Schlankheit zum Vorbilde und machten die Dicke der Säulen von einem Achtel ihrer Länge, damit sie desto höher

Kenntnis der Entstehungszeit kann eine derartige Auswirkung während der Beurteilung berücksichtigt werden. Bildhafte Beschreibungen, sofern diese mehr durch den Einfluss der Entstehungszeit geprägt sind als durch den erkennbaren Gegenstand, können nur sehr eingeschränkt für die Interpretation genutzt werden, weil die gesuchte historische Information aus der zeitlich subjektiv angefertigten Präsentation nicht mehr heraus zu filtern ist[8]. Die zeitlich bedingte Einwirkung sollte ebenso wenig bei gegenwärtigen Bauaufnahmen vernachlässigt werden. Auch wenn unter Beachtung der modernen, weit entwickelten Methodik objektivere Ergebnisse zu erzielen sind, so kann nur schwer eingeschätzt werden, wie die heute üblichen Bauaufnahmepläne in späteren Zeiten bewertet werden[9]. Es ist nicht auszuschließen, dass wichtige Fragestellungen aus dem heutigen Zusammenhang nicht erkannt werden können, obwohl die dafür notwendigen Informationen am Bauwerk zu finden wären. Soll die Bauaufnahme auch in späteren Zeiten unter anderen Fragestellungen nutzbar sein, so muss die Modellbildung möglichst umfassend vorgenommen werden, um aus dem Zeitbezug begründete Auswirkungen auf das Modellierungsergebnis zu reduzieren. Auf eine Trennung in Erfassung und Interpretation ist besonders zu achten.

Für die Bauaufnahme stellt die Erfassung der Bauwerkseigenschaften auf Grundlage eines Vergleichsmaßstabes, das Messen, eine herausragende Bedeutung dar. Die auszuführende Vermessung bildet die Basis aller Bauaufnahmeverfahren; innerhalb der Bauaufnahmen wird im Bedeutungssinne von 'modulus' am Bauwerk Maß genommen. Besonders das Vermessen der geometrischen Eigenschaften nimmt eine zentrale Stellung ein, nicht nur weil ein überwiegender Teil der Bauwerksattribute aus geometrischen Größen besteht. Auch die Bewertung aller weiteren Eigenschaften muss im geometrischen Bezug erfolgen, ohne räumliche Zuordnung ist jede nicht geometrische Eigenschaft kaum für die Bewertung im übergeordneten Zusammenhang geeignet. Im Abschnitt über die allgemeine Modellbildung ist alles das, was nicht richtig in seiner Eigenschaft modelliert worden ist, unter dem Begriff Messungenauigkeit zusammengefasst worden. Für die Bauaufnahme muss die Auswirkung der Messungenauigkeiten noch umfangreicher betrachtet werden. Selbst richtig erfasste und bewertete Eigenschaften können falsche Informationen liefern, wenn sie nicht in den richtigen geometrischen Bezug gestellt werden. Bei der Bauaufnahme kann eine Information korrekt in ihrer inhaltlichen Bedeutung eingeordnet werden, aber gleichzeitig einen großen Fehler im Modell hervorrufen, weil ihre geometrische Position nicht richtig bestimmt worden ist. Jede Eigenschaft des Bauwerks hat somit eine inhaltliche Anforderung und eine geometrische Lagerichtigkeit während des Modellierungsprozesses zu erfüllen.

Aus diesem Grund bildet die geometrische Modellierung den wichtigsten Teilabschnitt der umfassenden Modellierung für die Bauaufnahme.

Anhand der Anwendung der 'Allgemeinen Modelltheorie' auf die Bauaufnahmeproblematik kann deutlich gemacht werden, dass sich während einer Bauaufnahme zwei große Hauptkriterien scheinbar unvereinbar gegenüber stehen: die Forderung nach Objektivität, wie sie sich aus dem Wunsch einer breiten und allgemeinen Nutzung von Bauaufnahmeergebnissen ergibt, und die Eigenschaft der Subjektivität, die im Zusammenhang der Zielstellung, der Person des Bauaufnehmenden, des Zeitbezuges und der geometrischen Richtigkeit eine entscheidende Bedeutung erhält. Diesen Konflikt zwischen einer möglichst umfassenden Modellierung und der unvermeidbaren Reduktion der Bauwerksattribute im Verlauf einer Modellbildung gilt es durch eine angepasste Bauaufnahmestrategie zu lösen.

---

aussehen möchten; legten ihnen Basen unter, gleichwie Schuhe, brachten am Kapitel Schnecken an, gleich Haarlocken, die zu beiden Seiten hernider hangen, ...".
Vielfach sind Begriffsbedeutungen über die Jahrhunderte vollständig verloren gegangen und müssen aufwendig recherchiert werden. So ist z.B. in einer Erbbauurkunde aus dem Jahre 1785 der Begriff 'Bühn' für das Obergeschoss verwendet worden [KNOOP et al., 1992].

[8] Neben dem Einfluss der Entstehungszeit sind verschiedene andere Gründe für eine verfälschte Darstellung in historischen Plänen und Bildern zu nennen [KNOEPFLI, 1976b], vgl. hierzu Kap. 6.4, 'Ergänzende Aspekte einer umfassenden Bauaufnahmestrategie'.

[9] Im Zusammenhang von Bauaufnahme und Denkmalpflege schreiben K. Bingenheim und E. Hadler [BINGENHEIMER, HADLER, 1993]: "Doch das Erkennen dieser Fehler (gemeint sind in der Vergangenheit gemachte Fehler bei der Sanierung von Baudenkmalen) berechtigt nicht zu der Annahme, wir könnten es besser und würden bestimmte Fehler nicht mehr machen – wir machen andere."

3 Anwendungsgebiete der Bauaufnahme

In den unterschiedlichsten Disziplinen findet eine Auseinandersetzung mit gebauten Objekten statt, wobei das besondere Fachinteresse vom kleinsten Bauwerksdetail bis zu großflächigen Gebäudeensembles reichen kann. Für die meisten Fragestellungen müssen unabhängig von der Objektausdehnung geometrische wie inhaltliche Basisdaten als Grundlage weiterer Untersuchungen vorliegen. Soweit diese nicht aus anderen Quellen erschlossen werden können, ist das Bauwerk einschließlich seiner charakterisierenden Eigenschaften zu erfassen. Diese Erfassung wird mit Methoden und Verfahren vorgenommen, die unter dem Begriff 'Bauaufnahme' zusammengefasst werden können. Nur in wenigen Anwendungsfeldern, wie z.B. der verformungsgerechten Bauaufnahme für die historische Bauforschung, existiert eine allgemein anerkannte Definition des Bauaufnahmebegriffs[1]. Vielfach werden die Begriffe Vermessung, Dokumentation, Bauaufnahme, Inventarisierung usw. in diesem Zusammenhang undifferenziert benutzt, obwohl sie im jeweiligen Fachkontext unterschiedliche Bedeutungen aufweisen. Die Unkenntnis über die spezifischen Anforderungen, die von den unterschiedlichen Nutzern an die Bauaufnahme gestellt werden, kann zu Ergebnissen führen, die der geforderten Qualität nicht gerecht werden. Letztendlich wird durch eine derartige, nicht zielgerichtete Bauaufnahmepraxis der Nutzen der verschiedenen Bauaufnahmeverfahren für die einzelnen Anwendungsgebiete generell in Frage gestellt, sodass die Bauaufnahmeverfahren, obwohl für den Zweck prinzipiell gut geeignet, nicht zur Anwendung kommen.

Mit den Worten der 'Allgemeinen Modelltheorie' ausgedrückt ist im Vorfeld einer jeden Bauaufnahme zu klären, unter welchen Randbedingungen die Modellierung des Bauwerks erfolgen soll. Besonders seitens der handelnden Personen muss Einverständnis über den Zweck der Modellierung erzielt werden. Es muss weiterhin sichergestellt werden, dass durch die Anwendung der Bauaufnahmeverfahren ein Nutzen für die Untersuchung des Bauwerks gewährleistet ist.

Deshalb sollen im Folgenden die Anforderungen an die Bauaufnahme in den unterschiedlichen Anwendungsgebieten aufgezeigt werden. Nur auf Grundlage der genauen Kenntnis über die Bauaufnahmeziele kann ein optimaler Einsatz der zur Verfügung stehenden Bauaufnahmeverfahren ermöglicht werden.

Sofern nötig werden die Anforderungen vor dem Hintergrund der 'Allgemeinen Modelltheorie' bewertet, um Widersprüche aufzeigen und hierdurch die Erfordernisse, die für eine erfolgreiche Anwendung der Bauaufnahmeverfahren notwendig sind, deutlicher darlegen zu können.

3.1 Anwendung im Gebäudemanagement und für einfache Sanierungen

Die Bereitstellung von Basisdaten als Grundlage für Planungs- und Managementprozesse von Gebäuden nimmt mit dem Einsatz moderner Methoden bei Planungsaufgaben, dem so genannten Facility Management, einen immer breiteren Raum ein. Dabei erfolgt die Bauaufnahme als erster und wichtigster Schritt, wenn im Rahmen von Gebäudemanagementsystemen eine Datenbasis für bereits bestehende Gebäude geschaffen werden soll. Nur auf einer gesicherten geometrischen und inhaltlichen Datengrundlage kann ein Gebäude über seinen gesamten Lebenszyklus umfassend betreut und bewirtschaftet werden. Eine verlässliche Plangrundlage muss für Bauwerke ebenfalls bereitgestellt werden, wenn z.B. eine Fassadensanierung ausgeführt wird, eine genauere Grundlage für eine Mietkostenermittlung bereitzustellen ist oder einfache Sanierungsmaßnahmen im Rahmen einer Umnutzung notwendig werden.

Wird bei Neubauten meist eine Fortführung der Entwurfsdaten vorgenommen, so muss für Altbauten ein digitaler Datenbestand aufgebaut werden, sofern nicht bereits ausreichende, digitale Plangrundlagen vorliegen. Hierfür können entweder analoge Pläne digitalisiert werden, oder im Rahmen einer Bauaufnahme ist eine Neuvermessung durchzuführen. Anhand der aufgezählten Beispiele wird deutlich, dass bei dieser Art der Bauaufnahme ein Attribut des Originalbauwerks im Vordergrund steht: Die Bauwerksgeometrie ist die wichtigste Eigenschaft, die erfasst, modelliert und dargestellt werden muss. Hierbei ist zwar eine den meisten Anwendungsgebieten der Bauaufnahme vergleichbare Genauigkeit notwendig[2], doch ist die Geometrie ausschließlich in ihren Hauptelementen zu beschreiben, wobei ein hoher Grad an Generalisierung zugelassen werden kann. Damit stehen nicht die architektonischen Besonderheiten im Vorder-

[1] vgl. Kap. 3.5, 'Anwendung in der historischen Bauforschung'

[2] 1 cm bis 5 cm [NÄVY, 1998]

grund; die generalisierte Geometrie ist am Bauwerk ohne besonderen baugeschichtlichen Hintergrund zu erkennen und erfordert keine tiefgreifende Auseinandersetzung mit den Architekturformen des Baukörpers. Die Bauaufnahme kann in diesen Zusammenhängen auf die Bedeutung 'Vermessung' reduziert werden. Insofern ist die Verwendung des umfassenden Begriffs 'Bauaufnahme' nur bedingt gerechtfertigt. Diese Vermessung ist charakterisiert durch den Einsatz von geometrischen Regelkörpern, d.h. in den meisten Fällen wird zwar eine hohe Genauigkeit verlangt, die aber nicht den Anspruch nach Verformungstreue erfüllen muss. Beispielsweise ist die Größe einer Fensterlaibung zwar für Fassadensanierungen einfacher Art mit hoher Genauigkeit zu bestimmen, aber kleine Ausbruchkanten oder die Ausprägung der Fensterteilung interessieren für das Einpassen eines neuen Fensters nicht[3]. Für die Übernahme der Vermessungsergebnisse in das CAD-System des Gebäudemanagementsystems wird eine Idealisierung der Geometrie sogar gefordert; ein verformungsgetreues Aufmaß wird in keinem Fall verlangt [NÄVY, 1998].

Im Rahmen der inhaltliche Modellierung sind zum Aufbau von Gebäudeinformationssystemen für jeden Raum ergänzende Attribute zu erfassen, die sowohl die technische Ausstattung wie die Nutzung betreffen können. Dabei macht erst die Kombination der geometrischen Daten mit den inhaltlichen Informationen den Wert eines Gebäudeinformationssystems aus. Über die Geometrie kann jederzeit auf die in der Datenbank gespeicherten Sachdaten zugegriffen werden, es können Analysen mit den Sachdaten vorgenommen werden, die anschaulich im Geometriemodell zu visualisieren sind[4]. Um eine eindeutige und konsistente Zuordnung der Sachinformationen zu den Geometriedaten sicherzustellen zu können, muss die geometrische Modellierung objektbezogen ausgeführt werden. Nur wenn eine Wand aus einem für sich definierten Objekt und nicht aus einer Vielzahl einzelner Linien besteht, lassen sich mit ihr Attribute wie Material, Wandstärke, vorhandenen Installationen etc. verbinden. Dabei kann ein Objekt nicht isoliert für sich betrachtet werden, sondern ist in Beziehung zu den Nachbarelementen zu setzen. Während der Erfassung und Modellierung muss daher auch gewährleistet werden, dass die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Objekten (Topologie) fehlerfrei modelliert werden. Damit soll sichergestellt werden, dass für das Modell die Konsistenz der Daten auch dann erhalten bleibt, wenn z.B. im Rahmen eines Umbaus eine Zwischenwand entfernt wird. Für eine vielfältige Nutzung des Bauwerksmodells ist eine Verknüpfung der geometrischen Größen mit ergänzenden Sachinformationen in einem gemeinsamen Datenmodell anzustreben. Dementsprechend sollte das Ergebnis des Modellierungsprozesses in Form einer dreidimensionalen CAD-Datei vorliegen, auch um die Daten für den weiteren Planungsprozess in CAD-Systeme oder Gebäudeinformationssysteme übernehmen zu können.

Der Schwerpunkt der Objektmodellierung zum Aufbau von Gebäudeinformationssystemen liegt im Bereich der Datenkonzepte, Analysemöglichkeiten und Darstellungsformen, die als Grundlage in der Regel nur eine geringe Qualität der geometrischen Modellierung erfordern. Weitere Einzelheiten über die Anforderungen von geodätischen und photogrammetrischen Bauaufnahmeverfahren zum Aufbau von Gebäudeinformationssystemen sind den verschiedenen Veröffentlichungen dieses Fachgebietes zu entnehmen [HEILIGER, 1995b; HEILIGER, 2000; KEHNE, RUNNE, 1993; RUNNE, 1993; SCHRADER, 1995].

3.2 Anwendung im Rahmen der denkmalpflegerischen Inventarisierung und des archäologischen Surveys[5]

Die Erfassung von Kulturdenkmalen und archäologischen Objekten kann aufgrund der großen Anzahl nicht lückenlos mit einer hohen Genauigkeit erfolgen. Aus diesem Grund wird in beiden Disziplinen neben dem Werkzeug einer umfassenden Dokumentation durch eine Bauaufnahme oftmals das Verfahren der Inventarisierung angewendet. Hierbei sollen alle bedeutenden Objekte in einem Inventar dokumentiert und in ihren wichtigsten Eigenschaften beschrieben werden. Zum Einsatz kommen neben schriftlichen Beschreibungen und Fotografien auch photogrammetrische Aufnahmen, einfache Vermessungen und der Denkmalnachweis in Kartenwerken (vgl. Abb. 3.1). Werden Inventarisierungen mit großem Aufwand durchgeführt, so können sie durchaus die Qualität einfacher Bauaufnahmen erreichen[6]. Eine Erfas-

---

[3] Wenngleich diese Informationen für die denkmalpflegerische Bewertung wichtig sein können.

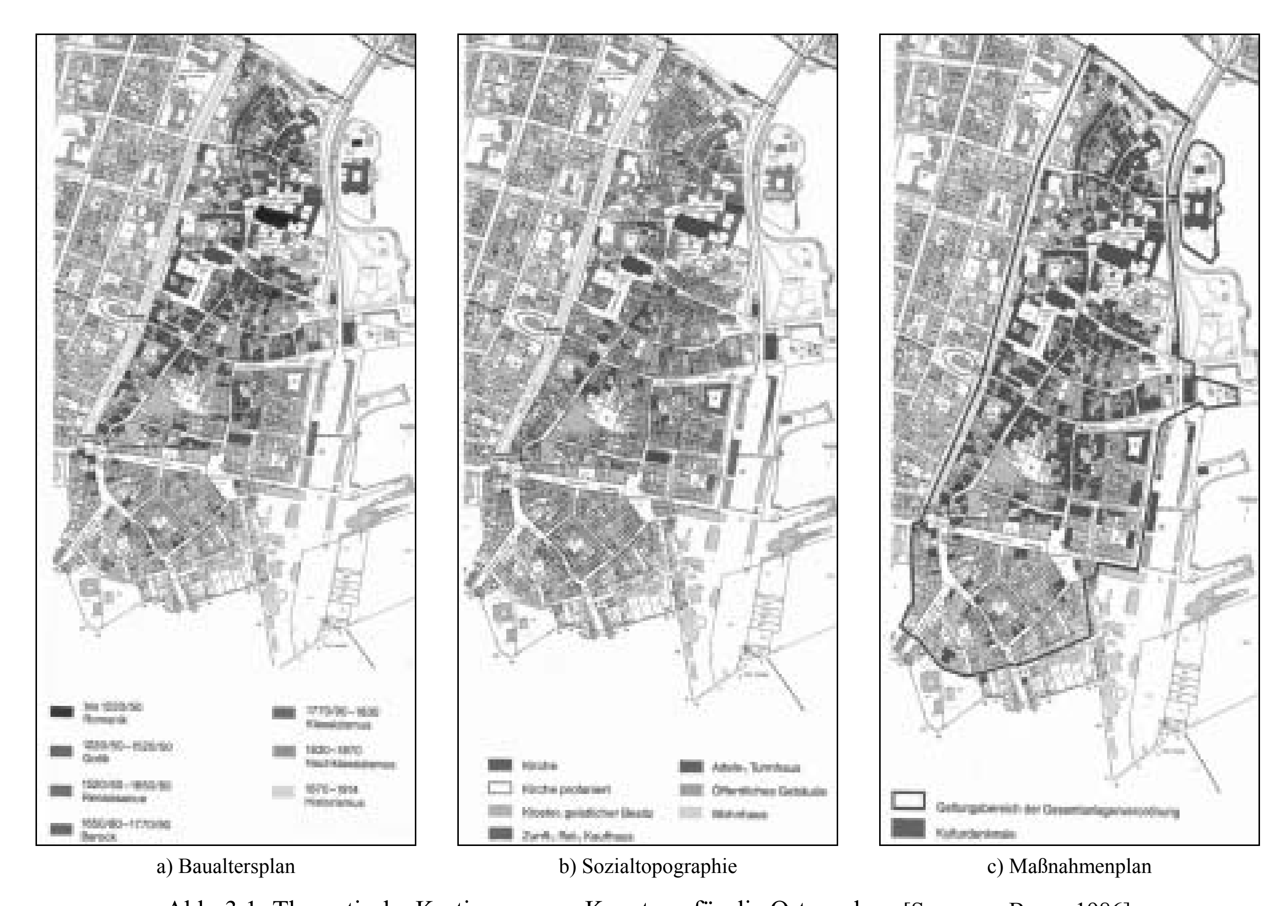
[4] vgl. Kap. 4.3, 'Datenstrukturierung und -darstellung'

[5] Für die Inventarisierung von archäologischen Stätten und Bauwerken wird oft der Begriff 'Survey' verwendet.

[6] vgl. Kap. 3.4, 'Anwendung in der Denkmalpflege'

sung in Denkmalinventaren kann demnach als raumbezogene Dokumentation verstanden werden, die soweit notwendig durch eine umfassende geometrische und inhaltliche Modellierung ergänzt wird.

Die Dokumentation von Denkmalen erfolgt in der einfachsten Form durch eine Zusammenstellung in Denkmallisten, in denen die Denkmale aufgeführt und in ihren charakterisierenden Merkmalen beschrieben werden. Eine derartige isolierte Betrachtung eines Denkmals innerhalb von Listen ist nicht in der Lage, die übergreifenden Zusammenhänge von Denkmalen aufzuzeigen[7]. Für die Auseinandersetzung mit geschichtlichen Prozessen ist nicht nur das Einzeldenkmal zu untersuchen, sondern sind auch die Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten zu analysieren. Um eine vergleichende Bewertung von Denkmalen zu ermöglichen, können die Begriffe Denkmaltopographie, Denkmaltopologie und Denkmaltypologie verwendet werden [BREUER, 1981a]. Im Rahmen von Denkmaltopographien werden die Baudenkmale in den übergeordneten Raumbezug eingeordnet und dargestellt. Topographisch aufgebaute Denkmalinventare sollen die räumliche Verteilung der Baudenkmale innerhalb bestimmter Gebiete nachweisen, sodass auf Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den Denkmalen geschlossen werden kann. Im Rahmen der Denkmaltopologie ist neben dem herausragenden Denkmal auch die unmittelbare Nachbarschaft zu betrachten. Das Denkmal ist in sein nächstes Umfeld einzuordnen, die Beziehungen zu Nachbargebäuden, dem angrenzenden Straßenverlauf oder eine Platzsituation ist zu erforschen.



a) Baualtersplan b) Sozialtopographie c) Maßnahmenplan

Abb. 3.1: Thematische Kartierung von Konstanz für die Ortsanalyse [STROBEL, BUCH, 1986]

Für die Denkmaltypologie werden die das Denkmal charakterisierenden Eigenschaften erfasst und Objekten ähnlichen Alters, vergleichbarer Struktur oder gleichlautender Denkmalaussage gegenübergestellt. Im Rahmen einer hierbei anzufertigenden Denkmalmonographie ist eine Bauaufnahme durchzuführen, die zum Erreichen von optimalen Ergebnissen den typischen Anforderungen für die historische Bauforschung entsprechen sollte. Doch weder für eine Denkmaltypologie noch für eine Denkmaltopologie ist aus Gründen der Wirtschaftlichkeit eine lückenlose Erfassung zu erreichen [BREUER, 1981a]. In den meisten Fällen kann nur eine vereinfachte Bauaufnahme für die Denkmalerfassung durchgeführt werden.

[7] Eine ausschließliche Beschreibung der Denkmale durch Koordinaten hieße die komplexe Denkmalwelt in Denkmalpunkte aufzulösen [BREUER, 1981a].

Derartige Bauaufnahmen für die Inventarisierung sind durch einen besonders starken Zweckbezug gekennzeichnet, sodass nur dem jeweiligen Ziel angepasste, sehr schematische Übersichtspläne zu erstellen sind. Hierbei wird generell weder ein geodätisches Festpunktfeld angelegt, noch werden Verformungen oder Bauschäden erfasst. In dieser selektiven Aufnahme bleibt die Bauwerksmodellierung meist auf einen Grundriss und wenige ausgewählte Schnitte beschränkt. Häufig verwendete Maßstäbe sind für Lagepläne 1:1000 sowie für Ansichten und Schnitte 1:400 [Breuer, 1981b] oder 1:500. Dennoch ist die Planerstellung für die Inventarisierung nicht als triviale Aufgabe anzusehen, da gerade in der Auswahl der Informationen die größte Schwierigkeit liegt [PETZET, MADER, 1993]. So ist die zielgerichtete Bewertung der Bauwerksinformationen eine der wichtigsten Anforderungen, denen eine Bauaufnahme für Inventarisierungszwecke genügen muss.

Ist ein Ensemble in seiner Gesamtheit denkmalpflegerisch zu untersuchen, wird von Stadt- oder Ortsbildanalyse gesprochen [KNOEPFLI, 1976a; STROBEL, BUCH, 1986]. Im Vorfeld von Stadt- und Dorferneuerungsmaßnahmen werden die geschichtliche, künstlerische und städtebauliche Bedeutung von Bauten, Straßen, Platzanlagen sowie Ortsteilen erfasst und bewertet. Ausgehend von der natürlichen Geländetopographie und den naturräumlichen Voraussetzungen werden die in der Geschichte stattgefundenen Veränderungen in Bezug auf Ortsbild, Sozialtopographie und andere Siedlungsmerkmale herausgearbeitet. Dabei sind die vielfältigsten Einflüsse, wie z.B. wirtschaftliche Situation und verkehrstechnische Infrastruktur, durch die Jahrhunderte zu erfassen und zu analysieren.



Abb. 3.2: Straßenansicht für die Ortsanalyse Bittigheim, photogrammetrische Fassadenabwicklung [STROBEL, BUCH, 1986]

Vorzugehen ist nach dem Prinzip vom Großen ins Kleine, sodass unter Verwendung von Luftbildern und Straßenansichten (vgl. Abb. 3.2) bis zur Bauaufnahme herausragender Gebäude fast alle Untersuchungsmethoden eingesetzt werden können. Vorbereitend und ergänzend sind historische Quellen zu sichten und zu bewerten. Neben der textlichen Beschreibung und Analyse sind Pläne zur Baualtersstruktur, Sozialtopographie (Abb. 3.1) oder Fassadenabwicklungen typische Ergebnisse der Ortsbildanalyse. Die optische Wirkung der Ensemble wird durch Perspektivskizzen verdeutlicht [KNOEPFLI, 1976a].

Neben den fachlichen Anforderungen haben Denkmalinventare auch die Funktion als Informationsvermittler zwischen den Denkmalexperten und der Gesellschaft zu erfüllen. Wesentliches Kriterium zum Erfolg jeder denkmalpflegerischen Tätigkeit ist die Akzeptanz der Maßnahmen, die nur erreicht werden kann, wenn über Veröffentlichungen ein Denkmalbewusstsein geschaffen wird. Ein vordringliches Ziel von Denkmalinventarisation muss demnach die breite Veröffentlichung der Ergebnisse sein [BREUER, 1981a].

Die prinzipiellen methodischen Anforderungen an Denkmalinventare können auf die Inventarisierung archäologischer Stätten analog übertragen werden. Durch die großräumigen Inventarisierungen unterschiedlicher Fundstätten im Rahmen eines Surveys sollen die archäologisch relevanten Objekte einer Region in ihrer geographischen Position und mit ihren wesentlichen Eigenschaften kartiert werden.

Nach Abschluss eines archäologischen Surveys kann sich eine vertiefende Einzeluntersuchung ausgewählter Objekte anschließen. Hierbei müssen alle Funde einer Ausgrabung in Form von Fundinventaren dokumentiert werden. Diese kleinräumige Inventarisierungsaufgabe ist zwar in Bezug auf die Informationsstrukturierung mit der Denkmalinventarisierung zu vergleichen, jedoch sind die Anforderungen an die geometrische Genauigkeit und inhaltliche Vollständigkeit wesentlich höher. Die Grundrisspläne oder Grabungsschnitte werden in den Maßstäben von 1:50, 1:20, 1:10, 1:5 oder größer angefertigt und zeichnen sich durch eine möglichst vollständige Dokumentation der vorgefundenen Situation aus. Damit ist die Bauaufnahme für kleinräumige Fundinventare nach den Kriterien anzufertigen, die für die historische Bauforschung anzuwenden sind. Dies gilt auch für die eigenständige Untersuchung von Architekturobjekten innerhalb archäologischer Grabungsprojekte, die ein Hauptanwendungsgebiet der historischen Bauforschung darstellen[8].

Die Inventarisierung in Form von Listen, Beschreibungen, Plänen und Fotografien ist nur mit einem hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand auszuführen. Die dabei anfallenden Kosten stehen einer lückenlosen Erfassung aller denkmalgeschützten oder archäologisch wichtigen Objekte entgegen, sodass viele Baudenkmale nur in Denkmallisten ohne geometrische Dokumentation nachgewiesen werden. Eine einfache Art der Verknüpfung von fotografischer Dokumentation mit geometrischer Objektbeschreibung kann durch Einsatz photogrammetrischer Verfahren realisiert werden[9]. Um diese Möglichkeit für die Denkmalinventarisierung nutzen zu können, wird vielfach der Aufbau eines photogrammetrischen Denkmalarchivs vorgeschlagen [Foramitti, 1976; Meydenbauer, 1894; Waldhäusl, 1999], wie es bereits durch die Preußische Meßbildanstalt von 1885-1921 betrieben wurde [Schultz, 1986]. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass vorsorgende Aufnahmen nicht den individuellen Anforderungen einer späteren Fachauswertung genügen können, weil sie – auch im Sinne der 'Allgemeinen Modelltheorie' – nicht für einen konkreten Zweck angefertigt werden. Gerade für Inventarisierungen kommt der fachbezogenen Bewertung eine große Bedeutung zu, sodass ohne diesen Kontext die für eine Inventarisierung wichtige Eigenschaften nicht aus den Aufnahmen abzuleiten sind. Die hohe Wertung der Informationen macht den Einsatz der photogrammetrischen Verfahren nur im Rahmen einer Gesamtdokumentation mit klarer Zielstellung zu einem wirkungsvollen Instrument [Eckstein, 1999].

Die Prinzipien der 'Allgemeine Modelltheorie' sind nicht nur während einer photogrammetrischen Inventarisierung zu berücksichtigen, sondern wirken sich generell auf alle für Inventarisierungen vorzunehmenden Modellierungsprozesse aus. Gerade die stark wertende Erfassung und Darstellung der Informationen sollte nur unter genauer Kenntnisse der Randbedingungen der Modellierung erfolgen. Dabei ist klar herauszuarbeiten, niederzulegen und allen Beteiligten zugänglich zu machen, unter welcher Zielstellung die Inventarisierung erfolgen soll. Nur so kann die starke Wertung bei der Reduktion der Eigenschaften vom Original zum Modell möglichst objektiv und nachvollziehbar durchgeführt werden. Dennoch ist der subjektive Einfluss innerhalb dieser urteilenden Bewertung nicht zu verhindern und wird deshalb durch Angabe der Verfasser der Denkmalinventare auch nach außen kenntlich gemacht [Breuer, 1981b].

3.3 Anwendung bei restauratorischen Fragestellungen

In restauratorischen Zusammenhängen wird eine Bauaufnahme meist mit dem Begriff 'Dokumentation' bezeichnet. Darunter wird nicht nur eine einmalige auszuführende Bauaufnahme zu Beginn der Arbeiten verstanden, sondern eine Erfassung, Analyse und Dokumentation vor wie auch während der Restaurierungsmaßnahmen. Es soll demnach nicht nur der momentane Bauzustand beschrieben werden, ebenso müssen auch alle durch die Restaurierung verursachten Veränderungen dokumentiert werden. Die Bauaufnahme ist gleichzeitig ein Mittel, um den Zustand des Objektes analysieren und verstehen zu können. Somit wird Bauaufnahme oder Dokumentation als Erkenntnismethode aufgefasst, deren Ergebnisse sich im Laufe des Restaurierungsfortschritts verändern [Reichwald, 1982]. In diesem Sinne ist restauratorische Dokumentation auch als Methode der Bauforschung zu verstehen [Meisel, Mennicken-

[8] vgl. Kap. 3.5, 'Anwendung in der historischen Bauforschung'

[9] vgl. Kap. 5.3.6, 'Photogrammetrie und Kulturgüterschutz'

HAUSCHILDT, 1990]. Gleichzeitig müssen die Konstruktion wie die Baustoffe technisch erforscht werden, um ihre Art und Zustände für die restauratorischen Erhaltungsmaßnahmen bewerten zu können [MEISEL, MENNICKEN-HAUSCHILDT, 1990].

Als allgemeine Ziele restauratorischen Handelns können nach U. Meisel und A. Mennicken-Hauschildt definiert werden [MEISEL, MENNICKEN-HAUSCHILDT, 1990]:

- die maßliche Erfassung des Baugefüges,
- eine Klärung der vorhandenen Konstruktion,
- die Feststellung von Mängeln und Schäden,
- eine Überprüfung von Tragverhalten und Standsicherheit sowie
- die Erfassung bauhistorischer Informationen.

Die Modellierung des Restaurators erfolgt sowohl mit zeichnerischen Mitteln als auch in Textform. Dabei werden die Oberfläche wie die konstruktiven Zusammenhänge erfasst, modelliert und dargestellt [REICHWALD, 1982]. Selten werden Bauwerke in ihrer komplexen Gesamtheit modelliert, vielmehr erfolgt die Dokumentation bezogen auf konkrete, meist kleinräumige Maßnahmen, sodass die Anforderungen an die absolute wie relative Messgenauigkeit nicht sehr hoch sind. Im Vordergrund der Modellierung stehen die inhaltlichen Aussagen über Material, Konstruktion einschließlich der zu verzeichnenden Schäden. Die vielfältigen Schadensbilder erfordern eine detailreiche Erfassung, die mehr Informationen erhalten muss, als z.B. eine das gesamte Bauwerk umfassende Bauaufnahme für denkmalpflegerische Zwecke. So werden besonders die Details von Fenstern (Abb. 3.3) und Türen, Decken und Fußböden, Wand und Wandverkleidungen sowie Tapeten und Farbfassungen untersucht [MEISEL, MENNICKEN-HAUSCHILDT, 1990].

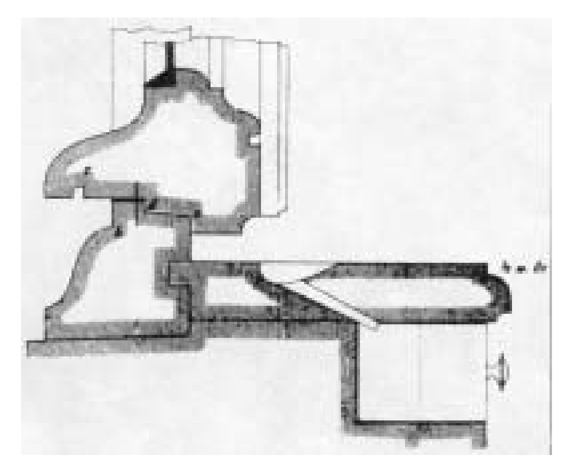
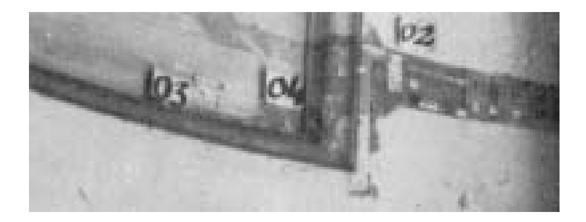


Abb. 3.3: Fensterprofil [MEISEL, MENNICKEN-HAUSCHILDT, 1990]



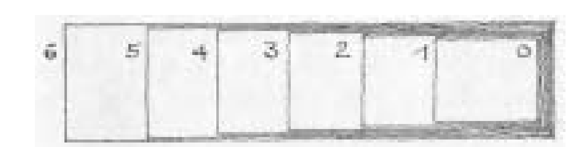


Abb. 3.4: Treppenschnitt [Meisel, MENNICKEN-HAUSCHILDT, 1990]

Um das Objekt durch die Untersuchung nicht zusätzlich zu schädigen, sollten zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Verfahren eingesetzt werden. Als zerstörungsfrei können alle Methoden bezeichnet werden, mit denen das Objekt berührungslos analysiert werden kann. Hierzu zählen geo- und bauphysikalische Verfahren ebenso wie fotografische oder photogrammetrische Verfahren, die Informationen des gesamten Wellenspektrums (z.B. durch Infrarotfilm) erfassen können[10]. Zerstörungsarm kann ein Objekt z.B. unter Einsatz der Endoskopie oder durch einen so genannten Treppenschnitt zur Klärung von Schichtenabfolgen untersucht werden (Abb. 3.4).

Die Beschreibung des Bauaufnahmeobjekts mit seinen Primärschäden und den hierdurch verursachten Sekundärschäden sowie den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen erfordert eine besondere Strukturierung der Modellierung und Darstellung[11]. Die einzelnen Schadensphasen wie die erfolgten Maßnahmen sollten getrennt erfasst und in unterschiedliche Ebenen gegliedert werden (vgl. Abb. 4.19). Aufgrund der

[10] vgl. Kap. 5.3.1, 'Photogrammetrisches Messprinzip'

[11] vgl. Kap. 4.3, 'Datenstrukturierung und -darstellung'

vielfach anzutreffenden flächigen Ausdehnung der Schadensbilder werden die Informationen überwiegend in zweidimensionalen Schadenskartierungen nachgewiesen [ECKSTEIN, 1999].

Sind Schäden an immer wieder auftretenden Baugliedern (z.B. an den einzelnen Bindern eines Dachstuhls) zu erfassen, ist eine einmalige Vermessung, Modellierung und Darstellung in den meisten Fällen ausreichend (Abb. 4.15). Das so erfasste Bauteil kann zur Schadenskartierung der übrigen gleichen Bauglieder kopiert werden, nur für wichtige Abweichungen von der Vorlage müssen ergänzende Detailzeichnungen angefertigt werden [MADER, 1988 und 1993].

Um die vielfältigen Bauaufnahmen und Dokumentationen innerhalb restauratorischer Arbeiten vergleichbarer zu gestalten, kann eine Systematik zur Kartierung von Schäden eingesetzt werden [BEHRENS, 1993; BEHRENS, BECK, 1993]. Hierbei sollen die verschiedenen Bereiche wie Material, Schäden, Bauphasen innerhalb einer allgemein verbindlichen Legende zusammengefasst werden, damit die Verständigung der verschiedenen am Objekt arbeitenden Arbeitsgruppen erleichtert wird. Grundlage der anzufertigenden Kartierungen können historische Pläne und Fotos, Handskizzen und Arbeitsfotos, Orthophotos und photogrammetrische Pläne, Handaufmaß oder auch Videobilder sein. Entscheidendes Kriterium für die Wahl der Kartierungsgrundlagen ist die geforderte Genauigkeit in geometrischer und inhaltlicher Hinsicht.

Im Sinne der 'Allgemeinen Modelltheorie' muss im Vorfeld der Bauaufnahme ein Schwerpunkt auf die klare Definition des Untersuchungsziels gelegt werden. Wird die restauratorische Dokumentation als Erkenntnismethode eingesetzt, so ist den subjektiven Einflüssen eine besondere Bedeutung beizumessen, dies gilt besonders, wenn mehrere Personen an der Restaurierung beteiligt sind. Demnach ist auch hier eine klare Definition des Dokumentationszieles vorzunehmen. Die Ergebnisse der Erfassung müssen in geeigneten Modellen anderen Nutzern zugänglich gemacht werden, sodass auf möglichst objektiver Grundlage eine Maßnahmenentscheidung getroffen werden kann.

3.4 Anwendung in der Denkmalpflege

Bauaufnahmen, deren Ergebnisse als Grundlage denkmalpflegerischen Arbeitens dienen sollen, müssen mit den besonderen denkmalpflegerischen Zielen und Ansprüchen durchgeführt werden. In den meisten Fällen soll dabei entweder ein Beitrag zur Beurteilung des Denkmalwertes geleistet werden, oder es ist eine gute Planungsgrundlage für die denkmalpflegerischen Maßnahmen bereitzustellen [BARTMANN-KOMPA, 1990; ECKERT, 1987]. Ziel der denkmalpflegerischen Arbeit auf der Basis der Bauaufnahme ist letztendlich ein Sanierungskonzept für das Bauwerk. Dieses Konzept sollte auf der Grundlage einer sorgfältigen Schadensanalyse unter Berücksichtigung der baugeschichtlichen Erkenntnisse aufgestellt werden. Dabei kann durch die Beseitigung der Bauwerksschäden zwar eine handwerkliche Sanierung vorgenommen werden, doch für die Bewertung der Denkmaleigenschaft ist die baugeschichtliche Forschung unerlässlich [MADER, 1988]. In diesem Zusammenhang ist es wichtig darauf zu verweisen, dass ein Bauwerk an sich noch keine Denkmaleigenschaft besitzt; erst durch die Vermittlung der mit dem Bauwerk verbundenen historischen Botschaft wird das Bauwerk zum Denkmal [BREUER, 1982]. Bei einem Bauwerk sind die geistigen Bedeutungswerte mit dem Baukörper verbunden [ECKERT, 1987]. Vor der Formulierung der denkmalpflegerischen Zielsetzung muss die Bedeutungsgeschichte des Bauwerks erforscht werden, also Bauaufnahme als Basis der Bauforschung betrieben werden. Nur so kann die individuelle kulturhistorische Aussage jedes einzelnen Baudenkmals in ihrer Vielschichtigkeit erkannt und bewahrt werden[12] [MADER, 2001]. Im Gegensatz zur historischen Bauforschung wird Bauforschung in der Denkmalpflege aber nicht zum reinen Erkenntnisgewinn ausgeführt, sondern im Hinblick auf eine spätere denkmalpflegerische Bewertung. Gleichzeitig soll mit den Ergebnissen aus der Bauforschung vermieden werden, dass aus mangelnder Kenntnis wichtige historische Befunde während der Sanierung vernichtet werden.

[12] Der Erhalt der kulturhistorische Aussage eines Gebäudes macht nach G. Mader den wesentlichen Unterschied zwischen einer Denkmalinstandsetzung und einer Altbauinstandsetzung aus [MADER, 2001].

Aufgrund der zielgerichteten Forschung bezogen auf den Denkmalwert wird diese Bauforschung als 'Angewandte Bauforschung' [WOHLLEBEN, 1993] bezeichnet.

Eine Bauuntersuchung ohne konkrete Fragestellung ist in der Denkmalpflege nicht anzutreffen [ECKERT, 1987; ECKSTEIN, 1986]; lediglich im Rahmen einer Inventarisierung kann eine vereinfachte Bauuntersuchung als Dokumentationsgrundlage eingesetzt werden.

Damit hat die Bauaufnahme Anforderungen sowohl für eine Schadenserfassung wie zur baugeschichtlichen Untersuchung zu erfüllen. Auf die Erfordernisse der Schadensanalyse wird hier nicht weiter eingegangen, da die wesentlichen Aussagen bereits im Kapitel 'Anwendung bei restauratorischen Fragestellungen' erläutert worden sind. Obwohl die Ansprüche an die Bauaufnahme als Grundlage der 'Angewandten Bauforschung' eine große Übereinstimmung mit den Notwendigkeiten der Bauaufnahme für die historische Bauforschung aufweisen, soll wegen des starken Anwendungsbezugs eine getrennte Betrachtung vorgenommen werden. Die Ausrichtung der Bauaufnahme auf ein konkretes Ziel und die damit verbundenen Schwierigkeiten im Modellierungsprozess erfordern eine Beurteilung vor dem Hintergrund der 'Allgemeinen Modelltheorie'.

Wichtigster Punkt für die Denkmalpflege ist die Sicherstellung der Erhaltungsziele [ECKERT, 1987], die durch die denkmalpflegerischen Vorgaben bei Sanierungs-, Umbau- oder Erweiterungsmaßnahmen gewährleistet werden soll. Liegen genug Informationen über den Denkmalwert eines Gebäudes vor, kann die denkmalpflegerische Zielstellung bereits zu Beginn der Bauaufnahme festgelegt werden, sodass eine gemeinsame Ausgangsbasis für alle an der Maßnahme Beteiligten hergestellt werden kann. Der Zweck der Bauaufnahme sollte somit hinreichend bekannt sein, die durch die Bauaufnahme vorzunehmende Modellierung kann nach den Anforderungen dieser denkmalpflegerischen Zielstellung erfolgen. Durch die Bauaufnahme wird der Bauwerkszustand erfasst und gleichzeitig eine Plangrundlage bereitgestellt, um die durchzuführenden Maßnahmen geometrisch festlegen und damit einen korrekten Verlauf der Sanierungsmaßnahmen sicherzustellen zu können. Ist die Art der Maßnahmen hinreichend genau definiert und die Geometrie der Maßnahmen in den Plänen mit der notwendigen Genauigkeit festgelegt, bleibt der subjektive Einfluss während der Sanierungsmaßnahme, bei der immer mehrere Personen beteiligt sind, gering. Der Informationsfluss muss von der Definition der Sanierungsziele über die Bauaufnahme und Maßnahmenplanung bis zur Ausführung der Sanierungsmaßnahmen sichergestellt sein.

Dieser pragmatisch und wirtschaftlich ausgerichteten Denkweise von Bauaufnahme in der Denkmalpflege steht eine absolute Bewertung des Bauwerksoriginals gegenüber, die davon ausgeht, dass jedes Bauwerk mit höchstem Aufwand untersucht werden sollte, um eine gesicherte Erkenntnis über den Denkmalwert erhalten zu können [MADER, 1982; MÖRSCH, 1982]. Hiernach ist jedes Baudenkmal unvoreingenommen und unter höchsten Ansprüchen zu untersuchen, um möglichst alle denkmalrelevanten Eigenschaften im Verlauf der Untersuchungen erkennen zu können.

Generell werden mit der Archivrecherche, der Bauaufnahme, der bauarchäologischen Untersuchung und der Dokumentation vier Hauptarbeitsphasen zur Untersuchung von Baudenkmalen unterschieden:

Im Vorfeld ausgeführte Archivstudien liefern erste Informationen über das Bauwerk, die aufgrund ihres sekundären Charakters nur Modelle der zweiten oder höherer semantischer Stufen sein können und somit die im Modellierungsprozess typischen Einschränkungen und Fehler aufweisen. Die den momentanen Zustand beschreibende Bauaufnahme soll die Erkenntnisse aus den durchgeführten Archivstudien bestätigen oder verwerfen und ergänzende Informationen liefern. Hierbei wird wieder auf das Bauwerkoriginal zurückgegriffen, das im Kontext der Denkmalpflege mit dem Begriff Primärquelle bezeichnet wird. Im Rahmen der 'Allgemeinen Modelltheorie' ist das Bauwerk als semantisches Modell der nullten Stufe einzuordnen. Soll von diesem Original in abgeleiteten semantischen Modellen durch die Bauaufnahme die Denkmaleigenschaft herausgearbeitet werden, so sind besonders die subjektiven Einflüsse auf die Bauaufnahme kritisch zu bewerten. Die Denkmalpflege ist sich dieses Einflusses bewusst [ECKERT, 1987; MADER, 1982; SCHMIDT, W., 1988] und setzt für eine möglichst objektive Bewertung mehrere durch unterschiedliche Personen ausgeführte Untersuchungsmethoden ein [ECKERT, 1987; KLEINMANNS, 1993]. Bei ausschließlicher Anwendung des Handaufmaßes innerhalb der Bauaufnahme [MADER, 1982] ist eine verstärkte Kombination mit anderen Untersuchungsmethoden anzustreben. Hierdurch soll die Informationsbasis verbreitert werden und der Informationsverlust gegenüber der Realität reduziert werden. Durch eine

scharfe Trennung von Deutung und Erklärung gegenüber der Erfassung kann eine weitreichende Objektivität erreicht werden, die auch eine kritische Bewertung des Objekts durch andere Wissenschaftler zulässt [MADER, 1982]. Aufgrund des subjektiven Charakters der Bauaufnahmen ist aber gerade diese Forderung nach Objektivität nur schwer zu erfüllen[13].

Ergänzend zu der Bauaufnahme ist eine bauarchäologische Untersuchungen zu veranlassen, die alle nicht direkt sichtbaren Informationen aufdecken soll. Bei den bauarchäologischen Verfahren ist eine Abwägung zwischen Informationsgewinn und Zerstörung der originalen Substanz vorzunehmen, so dass zerstörungsfreie Verfahren bevorzugt eingesetzt werden sollten [KLEINMANNS, 1993].

Alle nach der grundlegenden Bauaufnahme ausgeführten Untersuchungen müssen in den Bauaufnahmeplänen dokumentiert werden. Gleiches gilt für die eigentlichen Sanierungsmaßnahmen. Die Ergebnisse der Bauaufnahme müssen deshalb leicht zugänglich und handhabbar sein [SCHMIDT, W., 1988], um sowohl die aus der Bauaufnahme gewonnenen Kenntnisse für die Sanierung nutzen und alle weiteren am Denkmal auszuführenden Maßnahmen leicht und übersichtlich dokumentieren zu können.

Eine lückenlose Dokumentation ist besonders deshalb notwendig, weil der Zeitbezug auf alle denkmalpflegerischen Maßnahmen einen erheblichen Einfluss ausübt [ECKERT, 1987]. Gerade die Ziele des Denkmalschutzes verändern sich unter den wechselnden gesellschaftlichen Anforderung, sodass die zeitbezogenen Auswirkungen auf Sanierungsvorhaben besonders stark berücksichtigt werden müssen. Dies gilt sowohl für die Interpretation des vorgefundenen Bestandes als auch für die beabsichtigten Maßnahmen. Nur eine sorgfältige Dokumentation des gesamten Sanierungsvorganges kann eine Bewertung der denkmalpflegerischen Maßnahmen auch in anderen Zeiten unter veränderter Fragestellung sicherstellen[14].

Die Modellierung innerhalb der Bauaufnahme ist in Übereinstimmung mit der 'Allgemeinen Modelltheorie' als umfassender Vorgang aufzufassen, in dem sowohl die Geometrie als auch alle anderen Attribute erfasst, modelliert und dargestellt werden müssen. Die bis hierher formulierten Anforderungen für die Denkmalpflege können deutlich vermitteln, dass die Bauaufnahme entweder eher maßnahmenbezogen oder weitgehend forschungsbezogen ausgeführt werden kann.

Im maßnahmenbezogenen Kontext sind zur Erfassung der Geometrie für bestimmte Anwendungsfälle Genauigkeitsklassen von verschiedenen Autoren [ECKSTEIN, 1999; HÖLZL, 2001] vorgeschlagen worden. Auch wenn die Einteilung in Klassen schon vor der eigentlichen Bauaufnahme mit einigen Schwierigkeiten verbunden ist[15], wird erst hierdurch eine wirtschaftliche Bauaufnahme möglich. Eine die typischen Anforderungen in der Bauaufnahme für die Denkmalpflege berücksichtigende Klasseneinteilung wird im Folgenden kurz vorgestellt [ECKSTEIN, 1999]:

Für die Bauaufnahme von Bauwerken ist nicht in allen Fällen die gleiche Genauigkeit und inhaltliche Detailtiefe erforderlich. Aus den Definitionen zu Erfassungs-, Mess- und Darstellungsgenauigkeit[16] lassen sich vier Genauigkeitsklassen ableiten, die mit der Erfassung der entsprechenden inhaltlichen Objektattribute verbunden sind.

Mit der ersten Stufe wird ein schematisches Aufmaß bezeichnet, durch das ein Bauwerkssystem nur in groben Skizzen ohne Verformungen erfasst werden kann. Mit dem Darstellungsmaßstab von 1:100 können nur grobe Analysen z.B. in konstruktiver Hinsicht ausgeführt werden.

In der zweiten Stufe ist das Objekt annähernd wirklichkeitsgetreu zu erfassen, zu modellieren und darzustellen. Der konstruktive Aufbau wird mit den wichtigsten Verformungen beschrieben und entweder im Maßstab 1:100 oder 1:50 dargestellt. Die Pläne enthalten nicht die hohe Informationsdichte, die aufgrund des verwendeten Maßstabes umzusetzen wäre; während der Bauaufnahme wird eine umfassende Erfassungsgeneralisierung durchgeführt. Die zweite Genauigkeitsstufe findet bei einfachen Sanierungsmaßnahmen oder bei der Einzeluntersuchung eines Bauwerks innerhalb der Denkmalinventarisierung

[13] vgl. hierzu Kap. 2.2, 'Der Modellcharakter von Bauaufnahmen' sowie das Kap. 3.5, 'Anwendung in der historischen Bauforschung'

[14] vgl. Kap. 2.2, 'Der Modellcharakter von Bauaufnahmen'

[15] Nach G. Mörsch und G.T. Mader erlaubt erst eine mit höchstem Aufwand ausgeführte Bauaufnahme eine Bewertung des Bauwerks, aus der sich eine Einteilung in Klassen ableiten ließe [MADER, 2000; MÖRSCH, 1987].

[16] vgl. Kap. 4.1, 'Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme'

Anwendung. Auch werden weniger interessante Bereiche von Gebäuden, deren Struktur sonst eine Einordnung in die dritte Stufe rechtfertigt, in der zweiten Stufe bearbeitet.

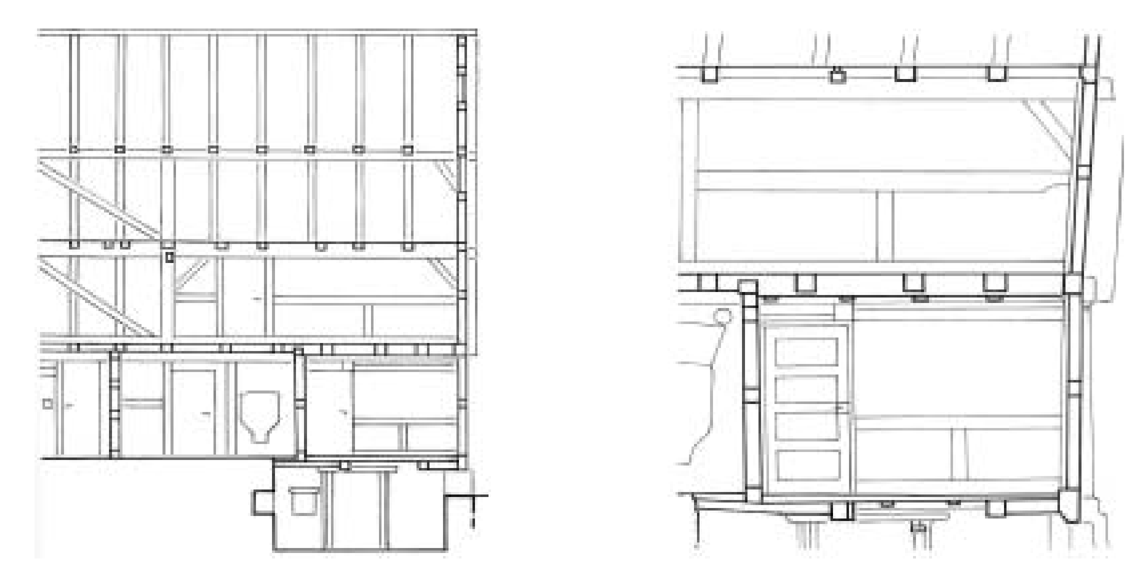


Abb. 3.5: Genauigkeitsstufen I (links) und II (rechts) [ECKSTEIN, 1999]

Ein exaktes, verformungsgetreues Aufmaß muss für Erfassungen in der dritten Stufe ausgeführt werden. Die geforderte Darstellungsgenauigkeit von 2,5 cm kann nur ab einem Maßstab von 1:50 sichergestellt werden. Diese Genauigkeitsstufe findet standardmäßig in der historischen Bauforschung und vielfach bei Umbaumaßnahmen Anwendung. Ab dieser Stufe wird ein dreidimensionales geodätisches Festpunktfeld gefordert, das einen übergeordneten Höhenbezug aufweisen muss.

Soll die Bauaufnahme besonderen Anforderungen der Bauforschung genügen oder für schwierige Umbaumaßnahmen geeignet sein, so ist ein verformungsgetreues Aufmaß auf der höchsten, vierten Stufe anzufertigen. Die Darstellungsgenauigkeit beträgt generell 2 cm und kann bei ergänzenden Detailaufnahmen auch höher liegen. Überwiegend wird der Arbeitsmaßstab 1:25 verwendet, für ergänzende Detailpläne können auch größere Maßstäbe bis 1:1 benutzt werden.

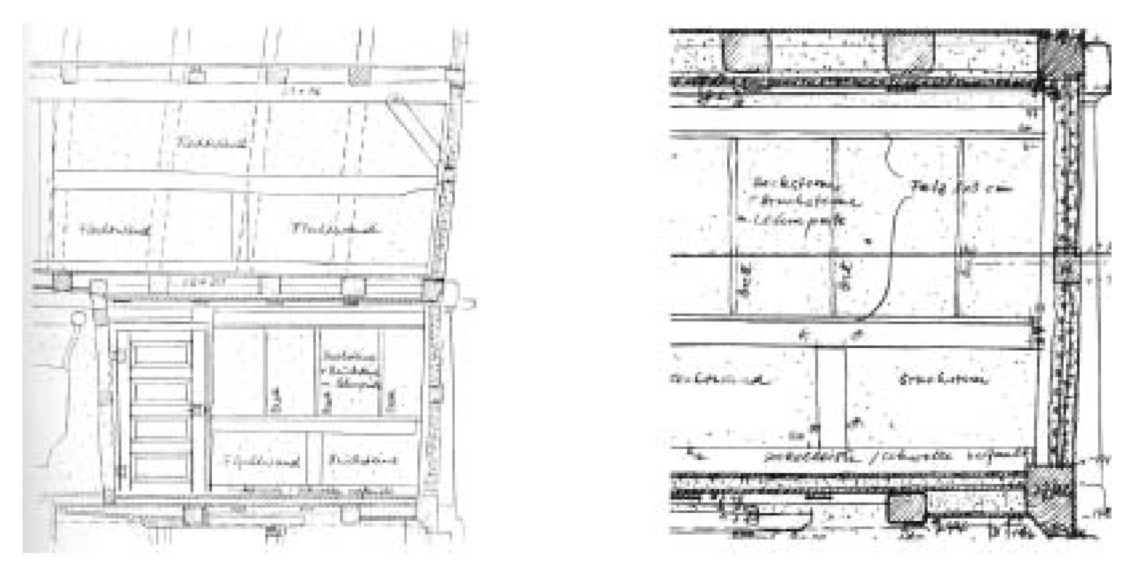


Abb. 3.6: Genauigkeitsstufen III (links) und IV (rechts) [ECKSTEIN, 1999]

Ergänzend zu der herkömmlichen Bauaufnahme ist es oftmals erforderlich, denkmalgeschützte Bauten auf ihre Verformungen und Standsicherheit zu untersuchen. Hierbei wird punktuell eine sehr hohe Genauigkeit von bis unter einem Millimeter gefordert, die nur durch präzise geodätische Setzungs- und Deformationsbeobachtungen erreicht werden kann. Da diese Verfahren nicht zum eigentlichen Themenkomplex der Bauaufnahme gehören, sei auf die Literatur zur Bauwerksüberwachung verwiesen [HENNECKE et al., 1994b; MÖSER et al., 2000].

Objekteigenschaften, die über die Geometrie eines Bauwerks hinausgehen, nehmen besonders für die Fragestellungen der Denkmalpflege eine grundlegende Stellung ein. So sind z.B. Einrichtungsgegenstände oder noch vorhandene originale Ausstattungsdetails wichtige Attribute, die den Denkmalwert eines Gebäudes wesentlich ausmachen können. Diese über die Bauwerksgeometrie hinausgehenden Informationen können in einem die Bauaufnahmepläne ergänzenden, so genannten Raumbuch separat erfasst, strukturiert und dargestellt werden [SCHMIDT, W., 1988]. Die Aufnahme der im Raumbuch zusammengefassten Objektattribute kann unter Umständen zeitgleich mit der geometrischen Beschreibung des Bauwerks erfolgen. Besonders der Einsatz digitaler Methoden erlaubt eine wirtschaftliche Kombination von geometrischer und inhaltlicher Modellierung. Damit wirken sich die Anforderungen, die an ein Raumbuch gestellt werden, auch auf die geometrische Modellierung aus und sollten hinreichend berücksichtigt werden. Das Raumbuch ist einerseits Erfassungswerkzeug und damit den Messmethoden zuzuordnen, andererseits wird aber durch die Systematik des Raumbuchs eine grundlegende inhaltliche Anforderung der Denkmalpflege an die Bauwerksmodellierung vorgegeben, sodass deren Hauptmerkmale hier kurz vorgestellt werden sollen:

Einleitend wird in dem Raumbuchkonzept festgestellt, dass ein Gebäude eine Komposition aus vielfältigen Einzelheiten und Materialien darstellt, die in Beziehungen und Abhängigkeiten zueinander stehen. Damit wird das Bauwerk als ein Objekt definiert, das im Sinne der 'Allgemeinen Modelltheorie' ein komplexes Original darstellt und somit in einem universalen Modellierungsprozess erfasst, beschrieben und dargestellt werden muss. Demnach sind auch hier die Randbedingen der Modellierung zu beachten. Die Objektattribute werden in diesem Zusammenhang als selbstständige Objekte bezeichnet und in konkrete und abstrakte Objekte eingeteilt. Konkrete Objekte sind

- die Gestalt in Form von Geometrie, Abmessung, Aufbau und Gliederung,
- das äußere Erscheinungsbild sichtbar durch Farbe oder Oberflächenstruktur sowie
- die Materialeigenschaften, d.h. die chemisch-physikalischen Merkmale.

Die abstrakten Objekte zeichnen sich aus durch

- Alter,
- Wert und
- Funktion.

Der sich präsentierende Bestand kann ein unüberschaubares Konglomerat aus sich überlagernden und durchdringenden Schichten und Bauteilen verschiedener Bau- und Nutzungsphasen sein. Dabei sind die einzelnen Gebäudeteile in einem unterschiedlichen Erhaltungszustand anzutreffen. Somit müssen im Rahmen der Bauaufnahme nicht nur der momentane Bauwerkszustand, sondern auch die zu beobachtenden Veränderungen und Erhaltungszustände erfasst werden. Mit dem Begriff Veränderungen werden die Schichtung von Putz und Anstrichen, anzutreffende Materialwechsel, Spuren von Abnutzung sowie Anzeichen von ausgeführten Reparaturen bezeichnet. Der Erhaltungszustand eines Gebäudes wird über die Beobachtung von lokalen Substanzschäden, Deformationen und Störungen dokumentiert. Die Modellierung aller hier genannten Attribute und die Darstellung in den für Bauaufnahmen üblichen Grundrissplänen oder Schnitten[17] würde unweigerlich zu einer nicht mehr sinnvoll darstellbaren Dichte von Informationen in den Plänen führen. Darüber hinaus können viele der Bauwerksattribute nicht in Form von Plänen vermittelt werden. Notwendig ist deshalb eine adäquate Modellierung und gute Gliederung der erfassten Informationen, die einen schnellen und sicheren Zugriff auf die Bauwerkseigenschaften ermöglicht.

Zu den traditionellen Bauaufnahmeplänen treten deshalb Fotos, Orientierungspläne, Übersichtszeichnungen, Erläuterungsskizzen und besonders Beschreibungen in Form von Text, Zahlen und Codes hinzu

[17] vgl. Kap. 5.1.2, 'Verformungsgerechtes Handaufmaß'

(vgl. Abb. 3.7). Die als konkrete Objekte bezeichneten Eigenschaften werden überwiegend in Zeichnungen und Abbildungen, die abstrakten Objekte dagegen durch erläuternden Text modelliert. Beide Modellierungsarten sollten nebeneinander eingesetzt werden.

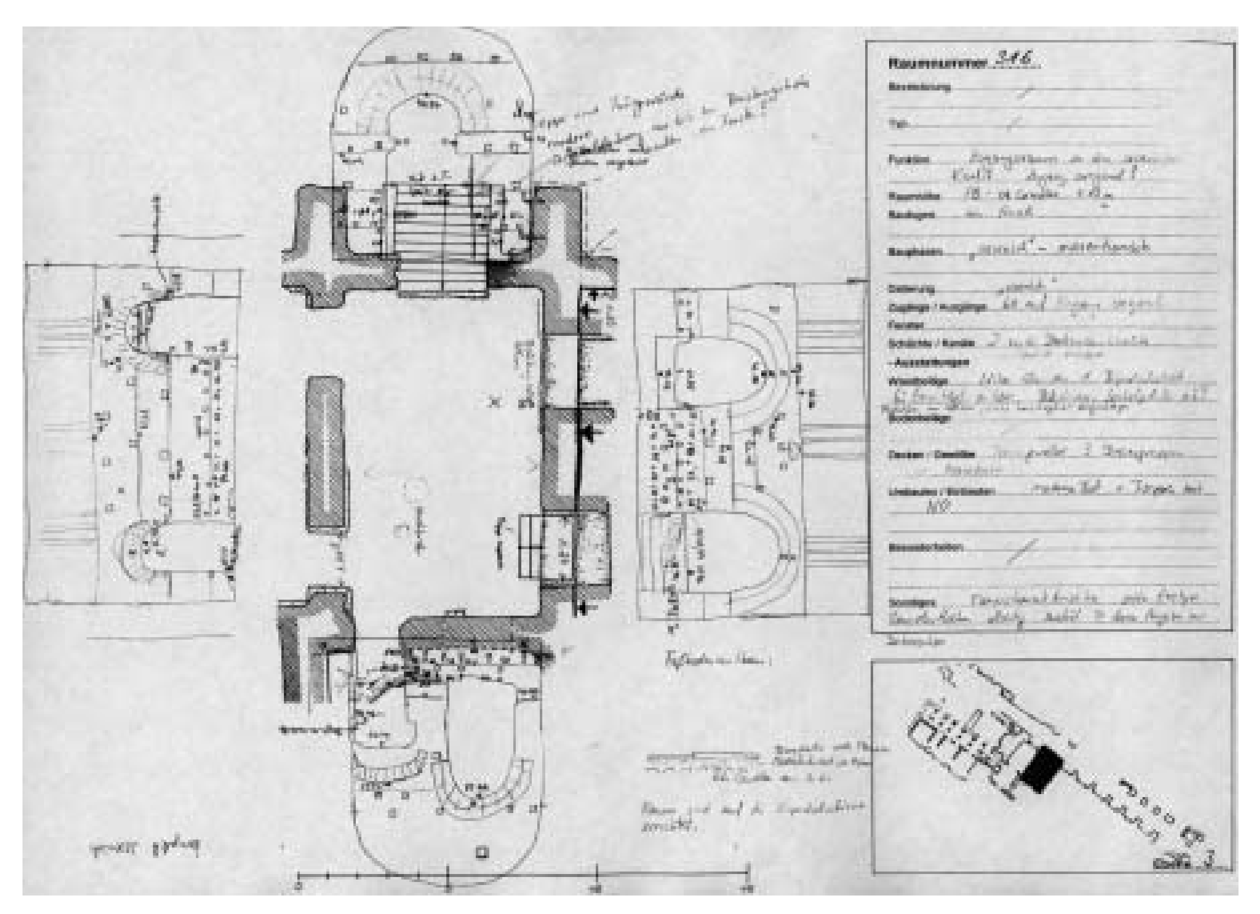


Abb. 3.7: Raumbuchblatt

Um die modellierten Informationen strukturiert vorhalten zu können, wird ein Ordnungssystem vorgeschlagen, das sich der natürlichen Struktur der meisten Gebäude bedient: Die Informationen werden den einzelnen Räumen des Gebäudes zugeordnet und in einem separaten Medium, dem Raumbuch, präsentiert. Hierbei erhält jeder Raum und jede Wandfläche in den einzelnen Räumen eine eigene Ordnungsnummer, mit der alle weiteren Informationen verknüpft werden können. Im einzelnen werden folgende Schritte zur kompletten Raumbuchherstellung ausgeführt:

- eine verformungsgetreue Bauaufnahme, die den Bau in Grundrissen, Schnitten und Ansichten beschreibt
- Auf Grundlage dieser Pläne wird das Ordnungssystem entworfen, auf das sich alle weiteren Untersuchungen beziehen können.
- Befunduntersuchung mit Detailplänen
- Fotodokumentation
- Zusammentragen aller vorhandenen Informationen im Raumbuch
- Bestandserfassung
- Aufarbeiten des Materials getrennt nach Fakten und Wertung
- Weiterführen des Raumbuches während der Sanierungsmaßnahmen durch den ausführenden Architekten bzw. Restaurator.

Zusammenfassend kann für das Raumbuchkonzept festgestellt werden, dass alle geometrischen Eigenschaften weiterhin in Bauaufnahmeplänen präsentiert werden müssen. Gleichzeitig muss die Bauaufnahme aber in der Lage sein, alle ergänzenden inhaltlichen Attribute in einem Ordnungssystem zu modellieren, das sich nicht nur auf ein übergeordnetes, für den normalen Nutzer abstraktes Koordinatensystem bezieht, sondern gleichzeitig die Verknüpfung der Informationen mit der Raumgliederung der Gebäude ermöglicht.

3.5 Anwendung in der historischen Bauforschung

In fast allen Kulturen wurden und werden Bauwerke mit den verschiedensten Methoden beschrieben, um ihre wesentlichen Merkmale zu erkennen, zu dokumentieren und weiteren Personen vermitteln zu können[18]. Dabei scheint diese intensive Beschäftigung mit der gebauten Umwelt durch das besondere Interesse der Menschen begründet zu sein, sich mit der eigenen Geschichte auch und gerade in Form ihrer sichtbaren Zeugnisse – der Bauwerke – auseinander zu setzen.

Diese Auseinandersetzung hat sich zu einer eigenständigen wissenschaftlichen Disziplin entwickelt, die allgemein als historische Bauforschung bezeichnet wird und in das große Forschungsgebiet 'Baugeschichte' einzuordnen ist. Wie die Baugeschichte insgesamt ist auch die historische Bauforschung den historischen Wissenschaften zuzurechnen [GERNER-HANSEN, 2001; TOMASZEWSKI, 1986; V. GERKAN, 1924]. Durch die Bauforschung können über die wissenschaftlichen Analysen von Bauwerken allgemeine geschichtliche Aussagen abgeleitet werden. Hierbei ist die Bauaufnahme eine Methode in der historischen Forschung, die dem Quellenstudium eines Historikers gleichkommt. Ebenso wie die schriftlichen Quellen muss auch das Bauwerk als Träger seiner Geschichte erfasst, kritisch analysiert und bewertet werden. Meist lassen sich geschichtliche Entwicklungen anhand von Veränderungen an Bauwerken ablesen und sind durch Befunde, die nur im Rahmen einer Bauaufnahme festzustellen sind, nachzuweisen [KLEINMANNS, 1993; TOMASZEWSKI, 1986].

3.5.1 Bauaufnahme in der historischen Bauforschung

Durch die Bauaufnahme werden die wesentlichen Grundlagen für die Erforschung der Baugeschichte historischer Bauwerke meist in Form von Plänen und Baubeschreibungen bereitgestellt. Das heute noch überwiegend gültige Verständnis von Bauaufnahme für die historische Bauforschung hat sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt[19] und lässt sich aus den vielfältigsten Definitionen in den verschiedenen Epochen [SCHMIDT, H., 1986; V. GERKAN, 1930; WANGERIN, 1992] wie folgt zusammenfassen:

Die dreidimensionale Gestalt eines Bauwerks soll in ihrem momentanen Zustand möglichst objektiv in Form von Grundrissen, Ansichten und Schnitten erfasst und wiedergegeben werden; in Zeichnungen nicht darstellbare Informationen werden in verbalen Beschreibungen ausgedrückt.

Die zeichnerische Erfassung des Bauwerks besteht überwiegend in der Vermessung der Bauwerksgeometrie, so wie sie sich dem Bauaufnehmer zum Zeitpunkt der Bauaufnahme darstellt. Vor der eigentlichen Vermessung müssen die wesentlichen Merkmale des Bauwerks erkannt und erfasst werden. Dieser Prozess der Wahrnehmung wird im Verständnis der Bauaufnahme für die Bauforschung nicht als ein isolierter Vorgang verstanden, der vor der eigentlichen Bauaufnahme stattfindet. Vielmehr ist der umfassende Arbeitsablauf in allen seinen einzelnen Phasen als ein geschlossener Erkenntnisprozess zu begreifen. Hierbei trägt die visuelle Wahrnehmung, das Messen und das Zeichnen zum Erkennen der baugeschichtlich wichtigen Informationen bei. Diese Vorgänge dürfen aber nicht getrennt voneinander ausgeführt werden, denn von der Wechselwirkungen zwischen diesen Arbeitsphasen hängt die Qualität der Bauaufnahme wesentlich ab. So besteht für die Bauaufnahme die Forderung, dass Messen und

[18] Hier sei nur als wohl bekanntestes Beispiel die in der Antike entstandene Architekturbeschreibung und -katalogisierung von Vitruv genannt [VITRUV, 1987].

[19] vgl. [SCHMIDT, H., 1986]

Zeichnen als ein gemeinsames, zeitgleiches Verfahren direkt im Angesicht des Bauwerks ausgeführt wird [ANDRAE, 1961; GERNER-HANSEN, 2001; KOLDEWEY, um 1905; MADER, 1982; SCHMIDT, H., 1993][20].

Das vom Zeichnen losgelöste Messen mit dem Ergebnis vermaßter Skizzen oder anderer maßstäblicher Zwischenergebnisse ist als methodisch nicht adäquates Verfahren abzulehnen, weil hierdurch einerseits der zuvor beschriebene Erkenntnisprozess gestört wird. Andererseits entsteht eine hohe Fehlerquelle, die dadurch verursacht wird, dass die Messungen nicht sofort in den maßstäblichen Bauaufnahmeplan übertragen werden und damit keine unmittelbare Kontrollmöglichkeit besteht. [ANDRAE, 1961; MADER, 1982]. Dabei ist das direkt am Objekt stattfindende Messen und Zeichnen im Zusammenhang der Wissensverarbeitung als zusätzliche Elaboration einzuordnen, die neben dem Sehen die Speicherung im Langzeitgedächtnis unterstützt und damit den Erkenntnisprozess für den Bauforscher wesentlich ermöglicht[21].

Durch die Bauaufnahme ist das Objekt möglichst objektiv wie detailliert zu erfassen und darzustellen (vgl. Abb. 3.8). Die Bauaufnahmepläne sollen dabei eine weitgehend lückenlose Dokumentation[22] gewährleisten und gleichzeitig sicherstellen, dass andere Wissenschaftler mit den Bauaufnahmeplänen eigene wissenschaftliche Fragestellungen bearbeiten können [V. GERKAN, 1930; MADER, 1982]. Die Bauaufnahme muss also wert- und nutzungsneutral sein, damit die Qualität der Bauaufnahmeergebnisse unabhängig von den Forschungszielen erreicht werden kann [ECKSTEIN, 1999]. Die Erfassung, Modellierung und Darstellung ist streng von der Interpretation und Wertung zu trennen [MADER, 1982]. Damit muss der Bauaufnahmeplan als Bestandsplan des vorgefundenen Zustandes ebenso publiziert werden[23], wie die auf der Bauaufnahme aufbauenden Bauphasen- oder Rekonstruktionspläne, die eines der wichtigsten Endergebnisse von historischer Bauforschung darstellen. Fehlen die Bauaufnahmepläne können die Rekonstruktionspläne nicht den Stellenwert einer Quelle im Sinne der historischen Forschung beanspruchen, weil die Nachprüfbarkeit anhand der Bauaufnahmepläne nicht gegeben ist.

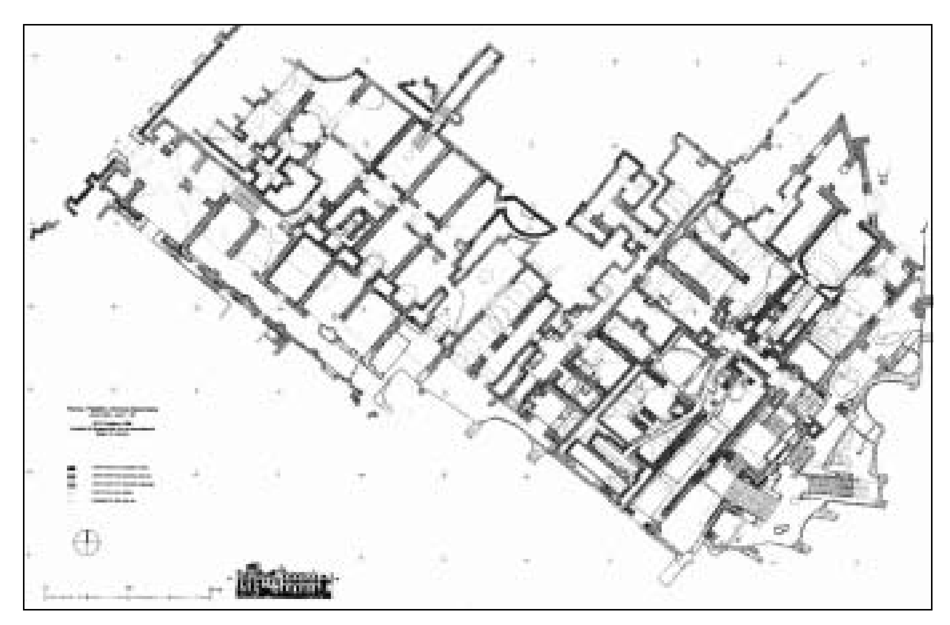


Abb. 3.8: Bauaufnahmeplan (Zeichnung: H. Lehmann)

[20] In einzelnen Fällen kann die Erfassung vor Ort so intensiv und geduldig ausfallen, dass der Bauaufnehmer einen 'Dialog' mit seinem Objekt aufnimmt und dabei in einer Art 'Zwiegespräch' mit dem Bauwerk die wesentlichen Informationen erfährt [HANSEN, 2001].

[21] vgl. Kap. 2.2, 'Der Modellcharakter von Bauaufnahmen'

[22] Eine umfassende Dokumentation kann aber nur für das Einzelbauwerk gefordert werden. Für die Zwecke der flächendeckenden Denkmalinventarisierung sind die Vorgehensweisen der Bauaufnahme für die historische Bauforschung nicht wirtschaftlich durchzuführen. Vgl. Kap. 3.4, 'Anwendung in der Denkmalpflege' und Kap. 3.2, 'Anwendung im Rahmen der denkmalpflegerischen Inventarisierung und des archäologischen Surveys'.

[23] Um eine größere Objektivität und Überprüfbarkeit zu erreichen, werden Bauaufnahmepläne z.T. mit den Originalmaßen versehen.

Die Forderung nach umfassender vollständiger Erfassung wird durch eine gleichzeitig notwendige Auswahl der vielfältigen Bauwerkscharakteristiken eingeschränkt. Um dem Ziel einer umfassenden baugeschichtlichen Dokumentation gerecht zu werden, muss während der Bauaufnahme eine Interpretation der Bauwerksinformationen vorgenommen werden; nur durch eine Reduktion des Inhalts können die wesentlichen Aussagen zum Bauwerk herausgearbeitet werden [MADER, 1982; SCHMIDT, H., 1986]. Wird die Bauaufnahme als analytischer Vorgang aufgefasst, bei dem nicht nur eine naturalistische Erfassung des Bauwerkzustandes erreicht werden soll, sondern vor allem eine Bewertung der baugeschichtlich relevanten Informationen zu leisten ist, so entsteht im Endergebnis eine auf das Forschungsziel ausgerichtete, subjektive Darstellung. Diese Bauaufnahmepläne zeichnen sich durch eine hohe Reduktion gegenüber dem Original in Bezug auf die offensichtlich erkennbaren Informationen aus. Vieles, was auf der Oberfläche leicht zu erkennen ist, wird aufgrund der fehlenden Relevanz für den Analysezweck nicht dargestellt. Gleichzeitig werden die für die Analyse wichtigen, aber nicht direkt sichtbaren Sachverhalte durch Signaturen im Plan veranschaulicht [GERNER-HANSEN, 2001; HANSEN, 2001].

Obwohl die Analyse während einer Bauaufnahme immer zu leisten ist, sollte nach dem allgemeinen Verständnis der historischen Bauforschung ein Bauaufnahmeplan immer so vollständig und umfassend angefertigt werden, dass ein Objekt wertfrei und vollständig wiedergegeben wird und anhand des Bauaufnahmeplanes vielfältige Fragestellungen bearbeitet werden können.

Eine weitere Einschränkung der Vollständigkeit erfolgt durch die Wahl des verwendeten Maßstabes[24]. Der Maßstab kann nicht nach dem kleinsten erkennbaren Detail festgelegt werden, sondern er richtet sich nach der allgemeinen Informationsdichte am Bauwerk. Ist der einmal gewählte Arbeitsmaßstab nicht in der Lage wichtige Details wiederzugeben, so wird mit ergänzenden Plänen und vermaßten Skizzen größerer Maßstäbe gearbeitet. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts ist z.B. für Quaderbauten ein Maßstab von 1:50 bis 1:100 und für Ziegel- oder Mörtelbauten ein Maßstab von 1:100 bis 1:200 als sinnvoll erachtet worden [V. GERKAN, 1930]. Heute werden je nach Fragestellung die meisten Bauten in größeren Maßstäben untersucht, wobei die Maßstäbe 1:50 und 1:25 am häufigsten verwendet werden.

Ein besonders hoher Anspruch wird an die Genauigkeit gestellt, wenn durch die Bauforschung Maßmodule überprüft werden sollen oder Abweichungen von einem Idealentwurf festzustellen sind. Hierbei ist nicht selten eine Genauigkeit von wenigen Millimetern über das gesamte Bauwerk zu gewährleisten [vgl. z.B. SCHIRMER, ZICK, 2000; HINKEL, 1996; MERTENS, 1984].

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde an die Darstellung von Bauaufnahmen eine Anforderung gestellt, die heute nur noch von den wenigsten Bauaufnahmen erfüllt wird: Die vielfach eingesetzte Schattierung sollte sicherstellen, dass der Betrachter sehr schnell einen Eindruck von den dreidimensionalen Gelände- und Gebäudeformen gewinnen konnte [ANDRAE, 1961].

Zusammenfassend kann für die Anwendung der Bauaufnahme in der Bauforschung festgestellt werden, dass in direktem Kontakt mit dem Bauaufnahmeobjekt die Erfassung aller wichtigen Details möglichst objektiv und umfassend erfolgen soll. Dabei ist die Bauaufnahme insgesamt ein Erkenntnisprozess, mit dem der Bauforscher den komplexen Bau in seiner umfassenden Gesamtheit verstehen möchte.

3.5.2 Anforderungen der historischen Bauforschung vor dem Hintergrund der 'Allgemeinen Modelltheorie'

Bei einem Bauwerk handelt es sich im Sinne der 'Allgemeinen Modelltheorie' um ein Original, das die verschiedensten Eigenschaften und Attribute aufweisen kann. Diese Attribute gilt es im Rahmen der Bauaufnahme zu erkennen, zu modellieren und darzustellen. Innerhalb dieses komplexen Prozesses können die verschiedenen Anforderungen, die von der Bauforschung an die Bauaufnahme gestellt werden, nicht widerspruchsfrei erfüllt werden. Um die Konflikte bei der Bauaufnahme für die Bauforschung deutlicher herauszuarbeiten, sollen die wichtigsten der innerhalb der 'Allgemeine Modelltheorie' formulierten Randbedingungen des Modellierungsvorgangs im Kontext der Bauforschung näher beleuchtet werden. Ziel dieser Betrachtung soll eine bessere Einordnung der Bauaufnahmemethodik sein,

[24] vgl. Kap. 4.1, 'Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme'

um nach vertiefender Kenntnis der auf die Bauaufnahme einwirkenden Randbedingungen eine höhere Qualität der Bauaufnahme für die historische Bauforschung zu erzielen.

Zweck der Erfassung soll eine umfassende Beschreibung des vorgefundenen Bauwerkszustands sein, die es erlaubt, anhand der Bauaufnahmepläne wissenschaftliche Bauforschung zu betreiben. Es wird davon ausgegangen, dass die Bauaufnahmepläne den Bauwerkszustand so umfassend wiedergeben, dass mit ihrer Hilfe die verschiedensten bauforscherischen Fragestellungen untersucht werden können. Gleichzeitig muss aber das Bauwerk während der Erfassung in seiner Informationsdichte reduziert werden, denn nur durch Reduktion lassen sich die wesentlichen Merkmale herausarbeiten. Doch eine Reduktion kann nur unter einer bestimmten Zielstellung erfolgen; sie kann nur ausgeführt werden, wenn unter dieser Zielstellung einige Bauwerksattribute höher bewertet und andere nicht so wichtig eingeschätzt werden. Auch die Wahl des Maßstabes bei der Erfassung, Modellierung und Darstellung reduziert die Inhalte im Bauaufnahmeplan gegenüber dem Originalbauwerk. Der Maßstab kann den Erfordernissen der Bauaufnahme angepasst werden, doch eben nur auf die Erfordernisse einer bestimmten Bauaufnahme, die unter einem konkreten Forschungsziel ausgeführt wird. Der historischen Bauforschung ist der Konflikt zwischen notwendiger Reduktion und umfassender Erfassung zwar bekannt, aber die Reduktion vom Original auf den Bauaufnahmeplan als Modell vom Original wird ausschließlich in ihrer positiven Wirkung als notwendiges Herausarbeiten von wesentlichen Inhalten angesehen. Die negative Sichtweise wird ausgeblendet mit der Folge, dass an der Forderung nach umfassender, genauer und objektiver Erfassung festgehalten wird [MADER, 1982; SCHMIDT, H., 1986]. Dabei kann die Forderung nach einer umfassender Bauaufnahme als Grundlage für vielfältige Bauforschungsfragestellungen nur aufrecht erhalten werden, wenn der Anspruch nach weitgehend lückenloser Erfassung höher bewertet wird, als die Ausrichtung auf eine bauforscherische Fragestellung. Ein wesentliches Element ist dabei die Verbreiterung der Informationsbasis durch mehrere, sich ergänzende Bauaufnahmeverfahren [TOMASZEWSKI, 1986]. Diese Notwendigkeit wird im traditionellen Verständnis der Bauaufnahme nur in Bezug auf ergänzende, andere Untersuchungsmethoden wie z.B. Quellenstudium oder Bauarchäologie gesehen [MADER, 1982], eine Kombination von verschiedenen Bauaufnahmemethoden wird dagegen generell nicht in Betracht gezogen.

Für eine kritische Betrachtung der Modellierungsvorgänge ist eine Bewertung des von den Forschungszielen ausgehenden Einflusses eng verbunden mit der Einordnung der am Gesamtprozess beteiligten Subjekte. Die Bauaufnahme wird zwar in der Regel von einer Person ausgeführt, sie soll aber gleichzeitig von mehreren Bauforschern genutzt werden können. Durch eine Trennung bei der Bauaufnahme in Erfassung sowie Deutung und Erklärung wird eine größere Objektivität angestrebt. Die persönliche Objektivität des Bauaufnehmers wird erwartet und vorausgesetzt, die Arbeit der Bauaufnahme erfordere „Selbstverleugnung“ [V. GERKAN, 1930]. Nur selten wird die der Bauaufnahme innewohnende große Subjektivität bewusst wahrgenommen und nach außen deutlich dargestellt [GERNER-HANSEN, 2001; HANSEN, 2001]. Besonderer Wert wird bei der Bauaufnahme darauf gelegt, dass die Erfassung des Objektes mit dem Hintergrundwissen der Bauforschung ausgeführt wird. Das Erkennen der Architekturformen kann nur mit dem entsprechenden Fachwissen erfolgen, das eine richtige Modellierung und Darstellung der Bauwerksinformationen sicherstellt und damit die besondere Qualität von bauforscherischen Bauaufnahmen gegenüber anderen Bauwerkserfassungen ausmacht. Durch einen Rückgriff auf die Wahrnehmungstheorie ist bereits gezeigt worden, dass neue Informationen nur auf der Basis von bereits bestehendem Wissen gewonnen werden können. Demnach kann die Forderung einer Trennung von neutraler Erfassung gegenüber der wertenden Einordnung der Informationen nicht aufrechterhalten werden. Das wissende Erkennen stellt schon eine erste Wertung dar, der sich der Bauaufnehmer wie der Nutzer von Bauaufnahmeplänen stets bewusst sein muss. Bei der Bewertung der Bauaufnahmepläne ist immer zu berücksichtigen, dass diesen Modellen, die eine Bauaufnahme im Kommunikationsprozess nach außen transportieren, ein subjektiver Modellierungsvorgang zum internen Modell vorausgegangen ist[25]. Die Bauauf-

[25] vgl. Kap. 2.2, 'Der Modellcharakter von Bauaufnahmen'

nahmepläne können das Original nicht ersetzen[26], aus ihnen lassen sich nicht die gleichen Informationen wie aus dem Originalbauwerk ableiten. Dies gilt besonders, wenn in der forschenden Auseinandersetzung mit dem Bauwerk neue Zusammenhänge erschlossen werden sollen.

[26] Vielfach wird Bauaufnahme auch als Befundsicherung betrachtet [REICHSTEIN, 1982], die wissenschaftliche Erkenntnisse auch nach der Zerstörung des Bauwerks ermöglichen soll. Diese Funktion kann die Bauaufnahme nur in dem sehr eingeschränkten Sinne des externen, auch vielfach als sekundär bezeichneten Modells erfüllen.

4 Grundlagen der Erfassung, Modellierung und Darstellung

Durch die Anforderungen der jeweiligen Anwendungsgebiete werden Zweck und Ziel der Bauaufnahme bestimmt. Die sich daraus ergebenden Vorgaben in Bezug auf die Erfassung, Modellierung und Darstellung der Bauaufnahmeobjekte müssen von den einzusetzenden Methoden bestmöglich erfüllt werden. Dabei sind im Vorfeld Überlegungen anzustellen, die grundlegende Randbedingungen der Bauaufnahmemethoden betreffen und deshalb unabhängig von der einzelnen Methode zu diskutieren sind: Die Wahl des Arbeitsmaßstabes ist eine der wesentlichen Entscheidungen, die im Vorfeld der Bauaufnahme zu treffen ist. Zu berücksichtigen sind hierbei die vom Objekt bestimmte Erfassungsgenauigkeit wie die Genauigkeiten während der Messung und Darstellung. Das Einhalten der Genauigkeitsgrenzen wird wesentlich durch die Qualität des verwendeten Festpunktfeldes beeinflusst, das entsprechend den geometrischen Genauigkeitsanforderungen zu konzipieren ist. Wird im Verlauf der Bauaufnahme eine Abbildung auf Bezugsflächen vorgenommen, sollten die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Genauigkeit für den gesamten Modellierungsvorgang berücksichtigt werden. Die meisten Bauaufnahmemethoden zeichnen sich durch ihre Leistungsfähigkeit zur geometrischen Datenerfassung aus. Die Strukturierung der Daten und die Darstellung der Bauaufnahmeergebnisse wird oft in einem nachgeordneten, separaten Arbeitsschritt ausgeführt. Diese zeitliche Abfolge bedingt nicht selten, dass die Entscheidungen über die Datenstruktur und Präsentationsform auf der Grundlage der Erfassungsergebnisse getroffen und nicht nach den Notwendigkeiten der Modellierungsziele entwickelt werden. Die mit der Datenstrukturierung und -darstellung verbundenen Anforderungen und Möglichkeiten sind zu Beginn der Bauaufnahme unter Berücksichtigung der Modellierungsziele zu bewerten, um die Bauaufnahmemethode insgesamt zu optimieren.

Diese Grundlagen der Erfassung, Modellierung und Darstellung werden ausführlich aufgearbeitet, wobei die daraus abzuleitenden Auswirkungen auf die Bauaufnahmemethodik vor dem Hintergrund der verschiedenen Anwendungsgebiete und Bauaufnahmeverfahren dargelegt werden.

4.1 Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme

Die an die Bauaufnahme gestellten Genauigkeitsanforderungen wirken sich in geometrischer wie inhaltlicher Hinsicht unmittelbar auf die Qualität und damit auf den Nutzen der Modellierung aus. Durch die Definition der Genauigkeitsansprüche wird der Arbeitsmaßstab festgelegt und mittelbar eine Vorentscheidung über die einzusetzenden Bauaufnahmemethoden getroffen. Wird eine hohe Modellierungsgenauigkeit verlangt, können bestimmte Mess- und Erfassungsmethoden bei der Entscheidungsfindung zur Verfahrenswahl nicht berücksichtigt werden. Wird dagegen nur eine geringe Anforderung an die Genauigkeit der Erfassung gestellt, sind Details unter Umständen in ihrer Geometrie – und damit auch in der inhaltlichen Aussage – nicht mehr zu bestimmen.

Um der Bedeutung von Maßstab und Genauigkeit für den gesamten Modellierungsprozess gerecht werden zu können, darf die Diskussion über die quantitativen Anforderungen nur vor dem Hintergrund eines übereinstimmenden, allgemeingültigen Begriffsverständnisses erfolgen.

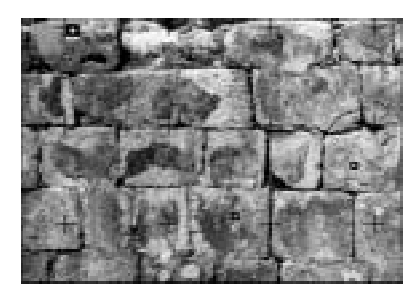
In den Ausführungen zur 'Allgemeinen Modelltheorie' ist dargelegt worden, dass durch Modellierungsvorgänge immer Informationen verloren gehen. Vom Original kann kein absolut identisches Modell abgeleitet werden. Hierbei ist es nicht entscheidend, ob die Reduktion der Bauwerksattribute beabsichtigt ist oder ungewollt im Rahmen des Gesamtvorganges der Modellierung auftritt. Werden Informationen unbeabsichtigt nicht erfasst, kann von Fehlern während des Modellierungsprozesses ausgegangen werden. Es sind drei Arten von Fehlern zu unterscheiden [JORDAN, 1877; KAHMEN, 1993]:

- Grobe Fehler, die durch Verwechselungen oder ähnliche Vorgänge entstehen und durch Kontrollen aufgedeckt werden können
- Systematische Fehler, die immer in der selben Richtung das Messergebnis verfälschen und durch geeignete Messverfahren und Messanordnungen eliminiert werden können
- Zufällige Fehler, die nach Ausscheiden der groben und systematischen Fehler übrigbleiben und die in der Unvollkommenheit des Verfahrens begründet liegen; sie können zufällig mit positivem wie negativem Vorzeichen auftreten und unterliegen den mathematischen Gesetzen des Zufalls

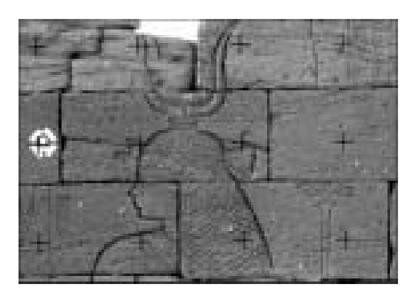
Um sich dieser Fehler bewusst zu werden und den daraus resultierenden Einfluss berücksichtigen zu können, müssen die Verfahren zur Bauwerkserfassung in ihrer Leistungsfähigkeit zu bewerten sein. Für eine konsistente Bauwerksmodellierung ist der Einfluss von Genauigkeit und Maßstab während der drei wichtigen Phasen der Bauaufnahme – Erfassung, Messung und Darstellung – zu berücksichtigen. Nachfolgend wird der Versuch einer Begriffsklärung unternommen:

Erfassungsgenauigkeit

Notwendige Voraussetzung für das Messen von Informationen an Bauwerken oder Bauwerksteilen ist das Erkennen der Information durch das Auge. Erst auf Grundlage der Analyse und Bewertung des Bauwerks können die Punkte für den eigentlichen Messvorgang ausgewählt werden. Hierbei wird die höchste Genauigkeit, mit der das Objekt erfasst werden kann, durch das Objekt selbst vorgegeben. Ein typisches Beispiel für eine Begrenzung der Genauigkeit durch den Erfassungsgegenstand ist die Modellierung der Steine eines Quadermauerwerks. Der Zustand der einzelnen Steinquader entscheidet über die maximal zu erreichende Genauigkeit während der Erfassung. Sind die Steine stark verwittert oder schon während des Bauprozesses schlecht bearbeitet worden, lassen sich die Maße der Quaderlängen nicht auf Millimeter ableiten (Abb. 4.1a). Liegt dagegen ein Mauerwerk vor, bei dem die Steine exakt zugeschnitten und vor dem Verbauen vor Ort noch nachbearbeitet worden sind, so kann die Steinlänge mit höchster Genauigkeit bestimmt werden (Abb. 4.1b).



a) Quadermauerwerk, Akören II, Nordkirche, Messbild Rollei 6006, Ausschnitt



b) Quadermauerwerk, Naga, Löwentempel, Messbild Rollei 6006, Ausschnitt

Abb. 4.1: Erfassungsgenauigkeit

Selbst unter Einsatz präziser Messverfahren können die Abmessungen der Quader des Beispiels der Abbildung 4.1a nicht mit der Genauigkeit von einem Millimeter bestimmt werden, weil die Zerstörungen der Oberfläche diese Genauigkeit bei der Punktauswahl nicht zulassen. Folglich wird die zu erreichende Messgenauigkeit zuerst durch den Zustand des Objekts und den daraus abzuleitenden Anforderungen begrenzt. Das Maß für die durch das Objekt definierte Genauigkeit wird im Folgenden mit 'Erfassungsgenauigkeit' bezeichnet.

Durch das Beispiel des verwitterten Quaders kann auch anschaulich verdeutlicht werden, dass während der Erfassung immer eine inhaltliche Auswahl der Informationen vorgenommen werden muss; schließlich soll der Quader erfasst werden, auch wenn seine Originalgeometrie nicht mehr zu erkennen ist. Aus messtechnischer Sicht muss eine Vereinfachung der realen Beschaffenheit im Verlauf der Modellierung vorgenommen werden. Die Entscheidung für die zu messenden Punkte des Quaders ist im kartographischen Sinne eine Generalisierung, die entsprechend des im Kapitel 2.1, 'Der allgemeine Modellbegriff', dargelegten Zusammenhangs die Genauigkeit der qualitativen Erfassung bestimmt. Für eine Auswahl der Erfassungsinhalte wird der Begriff 'Erfassungsgeneralisierung' verwendet[1].

Die inhaltliche Vollständigkeit einer Modellierung wird ebenfalls im Rahmen einer Generalisierung festgelegt, sie wird vielfach mit den Begriffen Generalisierungs- oder Detaillierungsgrad, Informationsdichte oder auch Darstellungstiefe bezeichnet. Die Entscheidung darüber, was erfasst wird und was nicht, ist eine auf den Zweck ausgerichtete inhaltliche Frage. Innerhalb der Ausführungen zum allgemeinen Modellbegriff ist die inhaltliche Vollständigkeit ebenfalls unter der Genauigkeit einer Modellierung

[1] Die Erfassungsgeneralisierung während des verformungsgerechten Handaufmaßes wird in Abb. 5.3 im Kap. 5.1.2 illustriert; zur Generalisierung im Allgemeinen vgl. [HAKE, GRÜNREICH, 1994].

genannt worden, sie ist aber begrifflich scharf von der geometrischen Genauigkeit zu trennen, da auch eine im inhaltlichen Sinn unvollständige Modellierung die erfassten Informationen mit höchster geometrischer Genauigkeit enthalten kann. Durch die Erfassungsgenauigkeit wird die höchst mögliche Genauigkeit der Erfassung begrenzt, wogegen über den Grad der Vollständigkeit aus fachspezifischen Gesichtspunkten die Menge der modellierten Informationen bestimmt wird.

Mit dem Begriff der Auflösung wird vor allem bei den bildgestützten Erfassungsmethoden die kleinste zu erkennende Einheit bezeichnet. Durch die Auflösung wird die maximal zu erzielende Erfassungsgenauigkeit begrenzt, weil nur die Strukturen des Originals erfasst werden können, die in den Bildern zu erkennen sind.

Messgenauigkeit

Die Messgenauigkeit eines Messverfahrens setzt sich aus zwei wesentlichen Komponenten zusammen. Zum einen wird die Genauigkeit der Messmethode durch die Leistungsfähigkeit des Erfassungswerkzeuges bestimmt, z.B. bei einem Tachymeter durch die Genauigkeit der Strecken- und Winkelmessung. Aus diesen Genauigkeiten der Originalmessgrößen lassen sich über die Gesetze zur Fehlerfortpflanzung die Genauigkeiten der daraus abgeleiteten Koordinaten berechnen[2].

Des Weiteren ist die Genauigkeit des übergeordneten Festpunktrahmens zu berücksichtigen[3]. Diese Genauigkeit wirkt sich besonders auf die 'absolute Genauigkeit' der Messungen aus. Im Gegensatz zur 'relativen Genauigkeit', die ein Genauigkeitsmaß zwischen benachbarten Punkten darstellt, gibt die absolute Genauigkeit die Punktlagegenauigkeit der Koordinaten an. Durch die absolute Genauigkeit können z.B. Aussagen darüber getroffen werden, mit welchem Fehler sich die Entfernung zwischen einem Punkt im Keller und einem Punkt im Dachgeschoss aus den Koordinaten ermitteln lässt. Aus der relativen Genauigkeit ist abzuleiten, mit welchem Fehler die Entfernung zwischen direkt benachbarten Punkten zu bestimmen ist (z.B. die Breite eines Fensters). In der Regel ist die relative Genauigkeit höher als die absolute.

Für eine Abschätzung der Messgenauigkeit muss auch die Leistungsfähigkeit des Beobachters berücksichtigt werden. Besonders entscheidend ist hier die Kombination von Messwerkzeug und menschlichem Auge, wie sie z.B. beim Messen von Bauwerkslängen eine besondere Bedeutung erhält. Obwohl der Zollstock in Millimeter-Einheiten geteilt ist und deshalb eine Ablesung auf dem Zollstock besser als 1 mm vorgenommen werden kann, ist die gesuchte Länge am Bauwerk mit geringerer Genauigkeit zu bestimmen, weil durch den Vorgang des Visierens eine Übertragung vom Bauwerk auf den Zollstock nur sehr viel ungenauer ausgeführt werden kann.

Darstellungsgenauigkeit und Darstellungsmaßstab

Ein Ergebnis der Modellierung im Rahmen einer Bauaufnahme kann die Darstellung in einem Bauaufnahmeplan sein. Oftmals wird der Maßstab des Bauaufnahmeplans als einzige Forderung und Rahmenbedingung für die Bauaufnahme vor Beginn des Modellierungsprozesses festgelegt. Wird so verfahren, sind aus der Festlegung des Darstellungsmaßstabes entsprechend einer maximal zu erzielenden Zeichengenauigkeit von ± 0,2 mm die Anforderungen an die Mess- und Erfassungsgenauigkeit abzuleiten. Damit dürfen Erfassungs-, und Messgenauigkeit z.B. bei den Maßstäben 1:20, 1:50 und 1:100 die Werte von ± 4 mm, ± 10 mm und ± 20 mm nicht überschreiten. Sind diese Grenzwerte nicht einzuhalten, so werden aus dem Bauaufnahmeplan geometrische Informationen abgeleitet, die nicht der Geometrie des Originals entsprechen können. Ähnlich problematisch ist der umgekehrte Fall, bei dem während der Erfassung und Messung ein großer Maßstab mit hohen Genauigkeitsforderungen verwendet wird und für die Darstellung ein kleiner, in dem nicht alle erfassten Informationen dargestellt werden können. In diesem Fall müssten die Ergebnisse der Messung einer Generalisierung, also einem weiteren Schritt im Modellierungsprozess, unterzogen werden. Diese Generalisierung ist aber besser am Original als Erfassungsgeneralisierung

[2] Fehlermaße werden hier generell ohne eine statistische Analyse über den Vertrauensbereich angegeben, da die Objektmessung in der Regel ohne Überbestimmungen ausgeführt wird und Überbestimmungen aus geometrischen Zwangsbedingungen in der Bauaufnahme nur in Ausnahmefällen genutzt werden können.

[3] Selten wird auch hier eine strenge Fehlerfortpflanzung vorgenommen, d.h. die Kovarianzmatrix der Netzausgleichung wird generell nicht für die Berechnung der Genauigkeit der Objektpunkte verwendet. Vielmehr muss aus den Anforderungen der Bauaufnahme die Genauigkeitsgrenze des übergeordneten Netzes abgeleitet werden.

vorzunehmen, um im Modellierungsprozess die Anzahl der Stufen der semantischen Modelle gering zu halten[4] und somit den Informationsverlust zu minimieren.

Bei Einsatz von CAD-Programmen als Darstellungsmedium treten diese Probleme scheinbar nicht auf. Technisch betrachtet kann durch die Zoomfunktion beliebig zwischen der Darstellung in verschiedenen Maßstäben gewechselt werden. Doch diese komfortable Betrachtungsmöglichkeit entbindet den Nutzer nicht von der Berücksichtigung der Einschränkungen aus der Erfassungs- und Messgenauigkeit. Wird dies unterlassen, so kann das aus dem Modellierungsvorgang hervorgegangene CAD-Modell dem Original nur unzureichend entsprechen. Das CAD-Modell wird seine Funktion nicht erfüllen und ist somit für den Modellierungszweck nur sehr eingeschränkt zu verwenden. In keinem Fall darf von einem Maßstab 1:1 gesprochen werden, nur weil die Darstellung theoretisch bis auf Originalgröße 'gezoomt' werden kann.

Zu Beginn einer jeden Bauaufnahme sollte für die einzelnen Objektbereiche über die Genauigkeitsanforderungen und den damit verbundenen Maßstab entschieden werden. Generell ist von der Erfassungsgenauigkeit auszugehen, mit der die Genauigkeitsanforderungen für das einzusetzende Messverfahren bestimmt werden. Abschließend ist die Genauigkeit der Darstellung abzuleiten, die nicht besser als Messgenauigkeit und Erfassungsgenauigkeit sein sollte. Durch diesen so genannten 'Arbeitsmaßstab' wird das Maß der Verkleinerung vom Original zum Modell als wichtige Grundlage der geometrischen Modellierung festgelegt.

Da die Wahl des Arbeitsmaßstabes eine der wichtigsten Randbedingungen für die Modellierung darstellt, soll im Folgenden auf einige Probleme im Umgang mit den Begriffen 'Genauigkeit' und 'Maßstab' hingewiesen werden:

Bei der Entscheidung über den Arbeitsmaßstab wird häufig nicht nur die Größe der kleinsten Bauwerksinformation berücksichtigt, sondern vielfach auch die Fülle der darzustellenden Inhalte [DÖRING, 2001; PETZET, MADER, 1993]. Aufgrund einer sehr großen Anzahl von über die reine Geometrie hinausgehenden Informationen wird der Maßstab vielfach so gewählt, dass die Inhalte ohne Überschneidungen und Verdeckungen im Planwerk dargestellt werden können. In diesen Anwendungen muss die Bauaufnahme über die Funktion der Geometriemodellierung hinaus vor allem eine Grundlage für die Kartierung bereitstellen. Die Entscheidung über die notwendige Erfassungsgenauigkeit kann somit nicht von der Wahl des Darstellungsmaßstabes getrennt werden. Nicht selten wird zu Gunsten einer besseren Lesbarkeit der abschließenden Darstellung ein größerer Arbeitsmaßstab gewählt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit diesem größeren Arbeitsmaßstab auch eine wesentlich höhere Anforderung an die Erfassungs- und Messgenauigkeit verbunden ist. Kann diese nicht erfüllt werden, so enthält das Modell im Gegensatz zum Original eine fehlerhafte Geometrieinformation. Es ist ein ähnlicher Effekt zu beobachten, der beim Kopieren von Plänen in einen größeren Maßstab auftritt. Auch wenn die Verschlechterung in der geometrischen Genauigkeit für den Zweck der Kartiergrundlage nicht entscheidend sein mag, so ist dieses Vorgehen besonders für eine Verwendung zu späteren Zeiten und unter anderen Zielen als bedenklich einzustufen und sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Dies gilt besonders deshalb, weil der abschließenden Darstellung nicht mehr anzusehen ist, ob die Wahl des Arbeitsmaßstabes aus geometrischen oder inhaltlichen Gesichtspunkten erfolgt ist. Die Verwendung von CAD- oder GIS-Programmen ermöglicht die Verarbeitung und Darstellung von Informationen auf verschiedenen Ebenen, sodass hierdurch eine Strukturierung der Inhalte erreicht werden kann, mit der eine bessere Lesbarkeit gesichert ist[5]. Bei Verwendung von analogen Daten sollten mehrere Planauszüge zur strukturierten Erfassung von Informationen eingesetzt werden. Nur in Ausnahmefällen ist die Wahl eines kleineren Maßstabes bei anschließender, sichtbar gekennzeichneter Vergrößerung eine praktische Lösung, um diesem Problem zu begegnen.

Der Widerspruch zwischen Informationsdichte und Lesbarkeit tritt bei allen digitalen Darstellungsmedien auf. Hierbei handelt es sich um ein klassisches Generalisierungsproblem, bei dem die Visualisierung der Inhalte während des Zoomvorgangs durch die verschiedenen Maßstabsbereiche verändert werden muss [vgl. HAKE, GRÜNREICH, 1994]. Im Gegensatz zur kartographischen Generalisierung analoger Pläne muss dies

---

[4] vgl. Kap. 2.1, 'Der allgemeinen Modellbegriff', Abb. 2.3

[5] vgl. Kap. 4.3, 'Datenstrukturierung und -darstellung'

jedoch online während der Benutzung geschehen. Zur Lösung des Maßstabsproblems digitaler Darstellungen wird das geometrische Zoomen, das die Darstellung nicht in ihrer Qualität, sondern nur in ihrer Größe ändert, durch das logische Zoomen ersetzt. Hierbei wird die Darstellung in definierten Stufen verändert. Übersteigt der Maßstab einen bestimmten Grenzwert, wird das Planlayout nicht mehr linear vergrößert, sondern eine komplette Erneuerung der Darstellung mit neuen Inhalten vorgenommen[6] [BILL, 1999b].

Besonders bei Einsatz berührungsloser Messverfahren wird nicht immer berücksichtigt, dass dem technischen Vorgang des Messens das Erkennen am Objekt vorausgehen muss. Grundlage der Bauaufnahme ist die analytische Auseinandersetzung mit dem Bauaufnahmegegenstand während der Erfassung, bei der die Basis für das Genauigkeitspotenzial des gesamten Modellierungsvorganges gelegt wird. Vielfach ist das Gleichsetzen der Genauigkeiten von Messen und Erfassen anzutreffen. Als Genauigkeit der Bauaufnahme wird nicht selten die theoretische Messgenauigkeit des Verfahrens angegeben. Dabei ist das Auge, manchmal auch die das Objekt 'begreifende' Hand eines der entscheidenden Erfassungswerkzeuge [z.B. GERNER-HANSEN, 2001; HANSEN, 2001; NOHLEN, 2001]. Während der Bauaufnahme durch berührungslose Messverfahren kann leicht vergessen werden, dass sowohl die optische Abbildung durch das Fernrohr eines Tachymeters wie auch besonders die fotografische Abbildung einen eigenständigen Modellierungsschritt darstellen. Das durch optische Abbildung entstandene Modell ist Grundlage für die weiteren Modellierung, sodass nicht die gleichen Inhalte wie direkt vom Original zu erfassen sind. Anschaulich kann dieser Zusammenhang an den Steinquadern der Abbildung 4.1a dargelegt werden: Die Verwitterung hat zwar die ursprüngliche geometrische Form auf der Oberfläche stark verändert, aber bei genauer Betrachtung oder durch eine in die Fugen gehende Untersuchung sind unter Umständen die Originalkanten noch zu entdecken, zu modellieren und darzustellen.

4.2 Koordinatensysteme und Bezugsflächen

Mit der Wahl eines Koordinatensystems als Grundlage für alle in der Bauaufnahme auszuführende Messungen wird eine der wesentlichen Randbedingungen für eine Modellierung von geometrischen Größen festgelegt. Dabei kann das Koordinatensystem als Bezugsrahmen so allgemein formuliert werden, dass alle Informationen über die Bauwerksgeometrie darin zu modellieren sind. Auf der anderen Seite lassen sich durch das Bezugssystem Grenzen für die Geometrieerfassung setzen, die eine umfassende Beschreibung des Objekts nicht mehr ermöglichen. Dies kann Einschränkung, aber auch Hilfe bei der geometrischen Modellierung sein.

Um diese beiden fundamentalen Voraussetzungen bei der Bauaufnahme entsprechend berücksichtigen zu können, werden die verschiedenen Koordinatensysteme einschließlich der Abbildung auf eine Bezugsfläche vorgestellt.

4.2.1 Koordinatensysteme

Bei der Einführung des allgemeinen Modellbegriffs wurde Messen als der Vorgang beschrieben, durch den unter Verwendung eines Werkzeuges die Bewertung von verschiedenen Eigenschaften ermöglicht wird. Handelt es sich bei der Bewertung um eine physikalische Eigenschaft, lässt sich aus nachfolgender lexikalischer Definition [BROCKHAUS, 1991] des Messvorganges Wesentliches zur Klärung des Messbegriffs einschließlich der notwendigen Bezugsgrößen gewinnen:

'*Messen, experimentelles Bestimmen eines Messwertes einer physikalischen Größe im Verlauf eines Messvorganges, wobei ein quantitativer Vergleich der Messgröße mit einer Einheit als Bezugsgröße stattfindet. ... Im einfachsten Fall kann der einzelne Messwert das Messergebnis sein.*'

[6] Dieses Darstellungsprinzip wird auch in dem so genannten *L*evel *o*f *D*etail (LoD)Verfahren angewendet.

Messen ist somit ein Vorgang, der die Bewertung einer Eigenschaft durch ein experimentelles Handeln im Vergleich zu einer fest definierten Bezugsgröße leisten kann. Die Bestimmung von geometrischen Größen erfolgt in der Regel durch das Messen von Strecken und Winkeln. Erste Bezugsgröße für die Streckenmessung ist die Definition der Längeneinheit Meter[7] und für die Winkel die verschiedenen Teilungen eines Vollkreises[8]. Mit Hilfe dieser Definition lassen sich die gemessenen Strecken auf eine gleiche, allgemeingültige Basis beziehen, doch die Aussage dieses Vergleichsmaßstabes zur Bewertung der Messungen ist für die meisten Anwendungen nicht ausreichend. Im Sinne der oben genannten Definition ist das Messen einer Strecke oder eines Winkels der einfachste Fall, der nur einen einzelnen Messwert als Ergebnis bereitstellt. Ergänzend können noch vergleichende Unterscheidungen über die skalaren Größen vorgenommen werden, d.h. es kann eine Entscheidung getroffen werden, ob die Strecke oder der Winkel a kleiner, gleich oder größer als eine andere sich auf das Vergleichsmaß beziehende Größe b ist (Abb. 4.2).

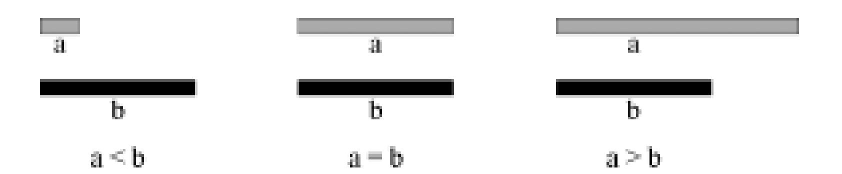


Abb. 4.2: Vergleich skalarer Größen

Erst die Kombination einer gemessenen Strecke mit einem Winkel ermöglicht eine ebene oder räumliche geometrische Bewertung von Eigenschaften. Aus den ursprünglichen Messgrößen werden abgeleitete Werte berechnet, die zur Beurteilung räumlicher Zusammenhänge genutzt werden können. Hierfür muss ein Punkt als Bezugspunkt für alle weiteren Messungen definiert werden. Die Verbindung zwischen diesem ersten Punkt und einem zweiten Punkt wird als Bezugsgerade für die Winkelmessungen festgelegt. Ausgehend von dieser Bezugsgeraden können alle weiteren Punkte durch die Messung von Strecken und Winkeln in ihrem räumlichen Verhältnis zu der Ausgangsgeraden mit ihrem Anfangspunkt bewertet werden. Dieses aufgespannte Koordinatensystem wird mit dem Begriff 'Polarkoordinatensystem' bezeichnet (Abb. 4.3). Sofern ebene Fragestellungen bearbeitet werden, ist das Messen von Winkeln und Strecken in der Objektebene ausreichend (Abb. 4.3a). Durch die Einführung von Winkeln, die sich auf die Bezugsebene beziehen, können auch dreidimensionale polare Koordinatensysteme definiert werden (Abb. 4.3b).

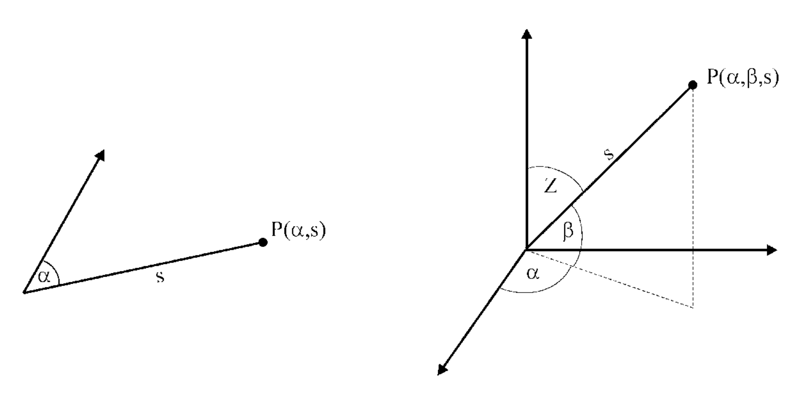


Abb. 4.3: Polarkoordinatensysteme

Die Festlegung des Ausgangspunkts der Streckenmessungen als Koordinatenursprung und die Wahl einer willkürlichen Geraden als Bezugsgröße für die Winkelmessungen ist wesentlicher Nachteil der polaren Koordinatensysteme. Dieser Nachteil tritt besonders deutlich hervor, wird die Vermessung zweier Räume eines Gebäudes betrachtet, die untereinander keine Sichtbeziehung aufweisen. Hier müsste in dem zweiten Raum ein neues, polares Koordinatensystem definiert werden, das mit dem ersten keine Verbindung aufweist (Abb. 4.4).

[7] Ein Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im leeren Raum während der Dauer von 1/299 792 458 Sekunden durchläuft.

[8] Ein Vollkreis nimmt die Größe 2π in der Einheit Radiant, 360 Grad [°] und 400 Gon [gon] ein.

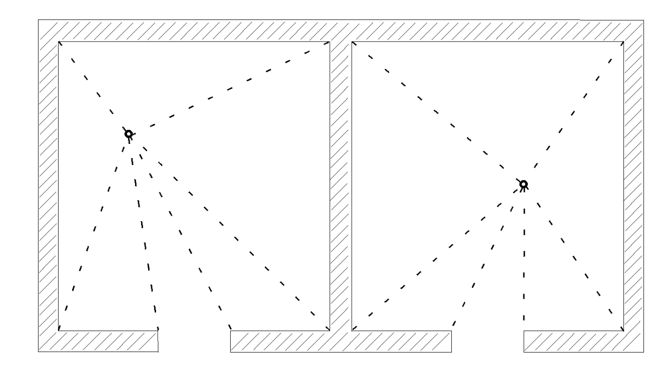


Abb. 4.4: Polarkoordinatensysteme ohne gegenseitigen Bezug

Zur Lösung dieses Bezugsproblems werden übergeordnete Koordinatensysteme verwendet, deren Ursprung und Koordinatenachsen unabhängig von den jeweiligen Instrumentenstandpunkten festgelegt werden (Abb. 4.5). Ursprung und X-Achse übergeordneter Koordinatensysteme können prinzipiell frei gewählt werden, X- und Y-Achse spannen eine Horizontalebene auf, alle weiteren Achsen stehen ausgehend vom Koordinatenursprung senkrecht zueinander. Die X-Achse, die mit der Y-Achse die Grundrissebene definiert, verläuft im allgemeinen in Richtung Norden[9]. Als Richtungswinkel wird der Winkel bezeichnet, den eine Strecke mit der X-Achse oder einer beliebigen Parallelen zur X-Achse einschließt. Mit Hilfe des Richtungswinkels lassen sich Orientierungen von Strecken auf die gleiche Bezugsgerade angeben. Alle gemessenen Punkte werden durch ihre Koordinaten im übergeordneten System bestimmt. Der Zusammenhang zwischen Richtungswinkel und Strecken zu den Koordinaten im Koordinatensystem lässt sich über Beziehungen im rechtwinkligen Dreieck leicht herstellen[10]. Bei dreidimensionalen Fragestellungen wird senkrecht zur Grundrissebene die Z-Koordinate als Höhe definiert.

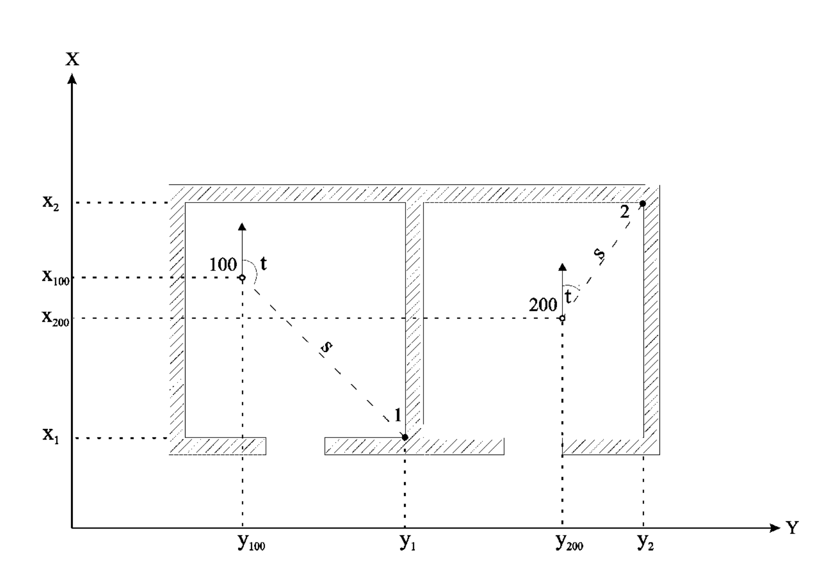


Abb. 4.5: Rechtwinkliges Koordinatensystem

Sofern vorhanden sollte das Landeskoordinatensystem als Bezugssystem verwendet werden, sodass die Ausrichtung nach Norden sichergestellt ist und gegebenenfalls eine Vergleichsmöglichkeit zu Objekten hergestellt werden kann, deren Koordinaten ebenfalls im Landeskoordinatensystem vorliegen (Abb. 4.6a). Bei Sonderproblemen kann es aber ebenso sinnvoll sein, ein örtliches, rechtwinkliges System zu verwenden, dessen X-Achse parallel zu einer der Hauptbauwerksachsen verläuft (Abb. 4.6b).

---

[9] Für die Bauaufnahme können die unterschiedlichen Definitionen der Nordrichtung (magnetisch Nord, Gitternord, geografisch Nord) und die verschiedenen Bezugsflächen (Ebene, Ellipsoid, Geoid) i. A. vernachlässigt werden. In der Regel sind Messungen in Gebieten bis maximal 10 km² auf eine ebene Bezugsfläche zu beziehen [KAHMEN, 1993].

[10] Für die geodätischen Grundlagen zu den Berechnungen in Koordinatensystemen sei hier auf die verschiedenen Lehrbücher verwiesen [z.B. GELHAUS, KOLOUCH, 1997; HENNECKE et al., 1994a; KAHMEN, 1993; RESNIK, BILL, 2000; WITTE, SCHMIDT, 1991].

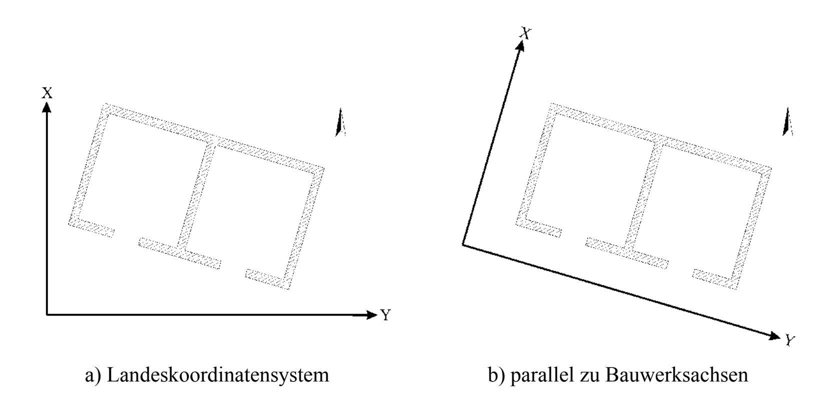


Abb. 4.6: Übergeordnete Koordinatensysteme

Als Bezugsfläche für die Höhenmessungen ist generell die amtliche Niveaufläche zu verwenden[11]. Liegen keine Angaben über amtliche Höhenpunkte vor, sollte ein fester Bezugspunkt für alle Höhenmessungen geschaffen werden, dessen Höhenfestlegung willkürlich erfolgen kann. Damit aber das Höhenniveau nicht vollkommen den tatsächlichen Höhen über der Bezugsfläche widerspricht, können Näherungsinformationen z.B. aus einer topographischen Karte beschafft werden oder einfache Höhenübertragungen durch barometrische Messungen sowie einfache GPS-Messungen ausgeführt werden.

Die rechtwinkligen Koordinatensysteme stellen für die Mehrzahl der Anwendungen der Bauaufnahme die beste Grundlage dar, um ein Objekt in seinen geometrischen Eigenschaften beschreiben zu können. Für spezielle Problemstellungen kann es aber dennoch sinnvoll sein, auf andere Koordinatensysteme zurückzugreifen. So sollten z.B. bei der Abwicklung von Türmen oder anderen zylindrischen Körpern die Messungen auf ein zylindrisches Koordinatensystem bezogen werden [KARRAS et al., 1997].

4.2.2 Abbildung auf Bezugsflächen

Mit der Wahl des Koordinatensystems ist die Frage nach der Darstellung als Endergebnis der Modellierung eng verbunden. Wird während einer gesamten Bauaufnahme von der Erfassung über die Modellierung bis zur Darstellung konsequent mit dreidimensionalen Daten gearbeitet, so muss die Entscheidung für eine Darstellung als letzter Schritt im Modellierungsprozess getroffen werden. Hierbei sind sowohl die geometrische Form des Objektes wie auch die abschließende Darstellung für den Vorgang der Geometrieerfassung unerheblich, da aus dem 3D-Modell jede beliebige zweidimensionale Abbildung erzeugt werden kann. In der überwiegenden Anzahl von Anwendungen der Bauaufnahme wird jedoch keine umfassende dreidimensionale Modellierung verlangt, auch wenn während der geometrischen Erfassung alle Messungen dreidimensional vorgenommen werden sollen. Ergebnis der Modellierung ist oft ein zweidimensionaler Plan in Form von Grundrissen, Schnitten, Ansichten, Abwicklungen oder Entzerrungen.

Weiterhin nutzen einige Verfahren besondere geometrische Eigenschaften des Bauaufnahmeobjektes zur Vereinfachung des Messvorgangs aus. Typisches Beispiel sind Wände oder Fassaden, die durch eine lotrecht stehende Ebene ersetzt werden, um auf dieser zweidimensionalen Ersatzfläche alle Messungen leichter ausführen zu können. Diese oder ähnliche Vereinfachungen der Objektoberfläche sind bei allen Messmethoden anzutreffen.

Damit sind die Überlegungen wie das dreidimensionale Bauaufnahmeobjekt im Rahmen der Modellierung in eine zweidimensionalen Darstellung überführt werden kann, an den Anfang der Bauaufnahme zu stellen. Im Folgenden sollen nur die prinzipiellen Lösungsmöglichkeiten dargelegt werden, ohne auf die jeweiligen Verfahren im Einzelnen einzugehen.

Wichtigste Abbildung der Bauaufnahme ist die Parallelprojektion, bei der jeder Objektpunkt durch senkrechtes Loten auf die Bezugsfläche abgebildet wird (Abb. 4.7). Kennzeichnendes Kriterium der Parallelprojektion ist die maßstäbliche Abbildung von Strecken, Winkeln und damit Flächen, sofern Bezugsfläche und Objekt parallele Ebenen darstellen [WIEDEMANN, 1997]. Die Anwendung der Parallelprojektion kann grundsätzlich in zwei verschiedenen Arten ausgeführt werden, die sich durch Form und Lage der

[11] Es wird darauf hingewiesen, dass für ein Gebiet auch mehrere Höhenbezugsflächen vorliegen können. So werden z.B. für den Bereich der ehemaligen DDR neben den NN-Höhen bezogen auf den Amsterdamer Pegel auch HN-Höhen bezogen auf den Kronstadter Pegel verwendet. Die dabei auftretende Differenz von im Mittel 16 cm darf auf keinen Fall vernachlässigt werden.

Bezugsflächen unterscheiden. Entweder wird die Bezugsfläche in ihrer Lage im Raum nicht verändert, mit der wesentlichen Konsequenz, dass zur Bezugsfläche nicht parallele Bereiche des Objekts in ihrer Länge verzerrt abgebildet werden (Abb. 4.7a). Diese Methode bildet die Grundlage für die Modellierung eines Bauwerks durch die Abbildung in verschiedenen Horizontal- und Vertikalschnitten. Die Schnittebene oder hierzu parallel angeordnete Ebenen sind gleichzeitig Bezugsfläche und Darstellungsebene.

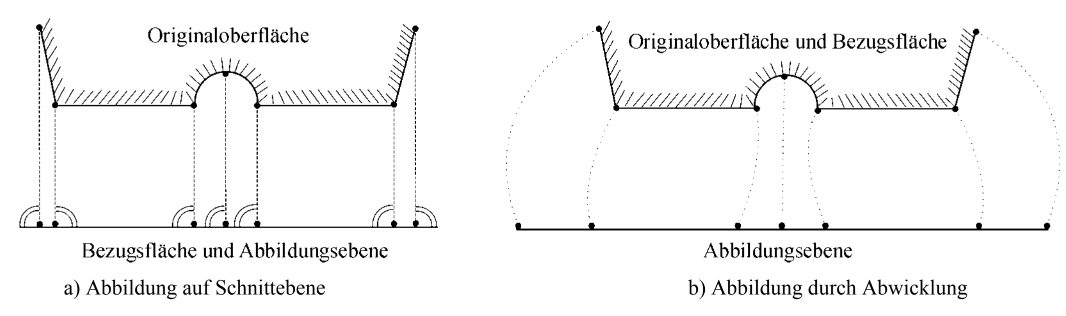


Abb. 4.7: Objektoberfläche – Bezugsfläche – Abbildungsebene

Innerhalb der zweiten Lösungsmöglichkeit für die Abbildung auf eine Ebene werden die zu verwendenden Bezugsflächen der geometrischen Form und Lage des Objektes im Raum angepasst, wodurch die wahren Längen am Objekt in der Abbildung erhalten bleiben, aber der einfach herzustellende übergeordnete Bezug durch das Aufgeben einer festen Bezugsebene verloren geht (Abb. 4.7b). Hierbei wird im Allgemeinen von 'Abwicklung' gesprochen.

Erster Schritt bei der Abwicklung ist die Bestimmung der Bezugsfläche, die der geometrischen Form der Oberfläche entsprechen muss. Nicht immer stimmt die Objektoberfläche fehlerfrei mit einem geometrischen Körper überein, sodass der Körper auszuwählen ist, mit dem die Oberfläche die höchst mögliche Übereinstimmung aufweist[12]. Neben dieser relativen Anpassung ist auch die absolute Position des Körpers im Raum festzulegen. Zur Bestimmung der relativen Form wie der absoluten Lagerung sind auf der Originaloberfläche ausreichend viele Punkte mit ihren dreidimensionalen Koordinaten zu vermessen, um hinreichend genau die tatsächliche geometrische Form ableiten zu können und somit auf gesicherter geometrischer Grundlage den Übergang von der Originaloberfläche auf die Bezugsfläche vornehmen zu können. Anschließend wird die Abbildung von der Bezugsfläche auf eine oder mehrere getrennt definierte Darstellungsebenen vorgenommen.

In beiden Abbildungsarten wird wie bei allen Parallelprojektionen üblich die Lage des Objektpunktes auf der Bezugsfläche durch Fällen des senkrecht auf der Bezugsfläche stehenden Lotes gefunden (Abb. 4.7). Die Abbildung in Schnitten kann bei Einhalten der Abbildungsvorschrift im Prinzip von beliebig gegliederten Oberflächen sehr einfach vorgenommen werden[13]. Abwicklungen sind verzerrungsfrei nur für ebene oder einfach gekrümmte Oberflächen auszuführen. Mehrfach gekrümmte Objekte wie z.B. Kugeln oder Ellipsoide können zwar bei entsprechender Wahl der Bezugsfläche mathematisch fehlerfrei in diese übertragen werden. Die abschließende geforderte Abbildung in eine Ebene kann aber nicht mehr ohne Verzerrungen erfolgen. Zur Abbildung derartiger Oberflächen in eine Darstellungsebene sind die unterschiedlichen Netzentwürfe der Kartographie einzusetzen. Da doppelt gekrümmte Flächen nur für eine Eigenschaft – längentreu, winkeltreu oder flächentreu – im Differentiellen verzerrungsfrei abgebildet werden können, ist eine für die Anwendung geeignete Abbildung zu wählen[14]. Völlig unregelmäßig aufgebaute, nicht mathematisch zu beschreibende Objekte können durch so genannte digitale Oberflächenmodelle in ihrer tatsächlichen Geometrie dreidimensional modelliert werden, um hierauf aufbauend Abbildungen in ebenen Darstellungen berechnen zu können[15].

[12] Besonders schwierig ist eine Entscheidung zu treffen zwischen den Bezugskörpern Kugel und Ellipsoid oder Zylinder und Kegel. Zur Anpassung von Punktwolken an Bezugskörper vgl. z.B. [THEODOROPOULOU, 2000].

[13] vgl. Abb. 5.5, Kap. 5.1.2, 'Verformungsgerechtes Handaufmaß'

[14] vgl. z.B. [HAKE, GRÜNREICH, 1994; KARRAS et al., 1997] sowie Kap. 5.3.2, 'Einbildauswertung'

[15] Diese Möglichkeit besteht prinzipiell auch bei mathematisch beschreibbaren Objekten; vgl. hierzu z.B. [SCHULZ, 2001; WIEDEMANN, 1997] sowie Kap. 5.3.2.4, 'Differentielle Entzerrung'.

Im Rahmen einer Abbildung vom dreidimensionalen Original zur zweidimensionalen Darstellung können Abweichungen in geometrischer und inhaltlicher Hinsicht auftreten, die aufgrund ihres prinzipiellen Charakters unabhängig vom eingesetzten Messverfahren vorkommen können und deshalb bei allen Vorüberlegungen über die anzuwendende Modellierungsstrategie zu berücksichtigen sind.

Für die geometrische Erfassung des Originals mit anschließender Abbildung in eine Ebene lassen sich zwei unterschiedlichen Vorgehensweisen einsetzen, die sich in Aufwand und Genauigkeitspotenzial erheblich unterscheiden. Wird über die Methode nach dem Gesichtspunkt der besten geometrischen Genauigkeit entschieden, so sollte die Messung der Geometrie direkt auf dem Bauwerksoriginal mit dem Ergebnis dreidimensionaler Koordinaten erfolgen. Anschließend werden die dreidimensionalen Raumkoordinaten auf die definierte Bezugsfläche abgebildet und dadurch eine Verebnung herbeigeführt. Dieser rein mathematisch terminierte Vorgang kann sowohl direkt während der Messung oder auch im Verlauf der Weiterverarbeitung in einem CAD-Modell ausgeführt werden. Bei ausreichend genauer Übereinstimmung zwischen Bezugsfläche und Original sowie fehlerfreier Messung der dreidimensionalen Koordinaten kann die Abbildung vom Original in die Ebene mathematisch korrekt vorgenommen werden.

Wird dagegen zum Vereinfachen des Messvorgangs das Original durch einen mathematisch zu beschreibenden Körper (Ebene, Zylinder, Kugel, Ellipsoid, Paraboloid) ersetzt und die Geometriemodellierung statt auf der Originaloberfläche auf dieser Körperoberfläche vorgenommen, so ist zu berücksichtigen, dass der als Modell eingesetzte Körper nicht immer der tatsächlichen Beschaffenheit des Originals entspricht[16]. Durch Fehler in der Bauausführung, raue Objektoberflächen, Bauschäden oder den Regelkörper ergänzende Bauornamente können Teile des Originals außerhalb der Idealform des Baukörpers liegen. Von der angenommenen mathematischen Oberfläche abweichenden Objektbereiche werden im Modell in ihrer Lage verzerrt abgebildet, sofern die eigentliche Messung nicht in direkter Parallelprojektion stattfindet. Dies ist immer dann der Fall, wenn berührungslose photogrammetrische oder geodätische Messverfahren eingesetzt werden. Es treten dabei Effekte auf, wie sie von der Zentralperspektive fotografischer Abbildungen bekannt sind. Die hierdurch verursachten geometrischen Auswirkungen sind am einfachsten für den Fall einer Ebene als Bezugsfläche zu verdeutlichen, treten aber auch für alle anderen Oberflächentypen auf:

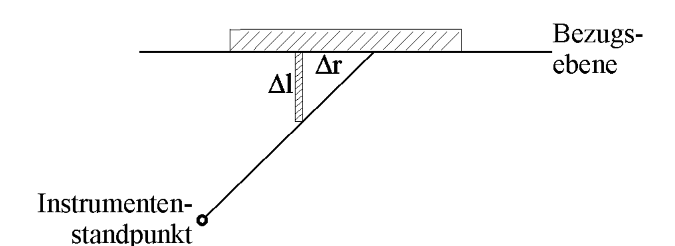


Abb. 4.8: Lagefehler für außerhalb von Bezugsflächen liegende Objekte

Die im Grundriss dargestellte Gebäudewand soll in ihrer Geometrie vermessen werden (Abb. 4.8). Um den Messvorgang zu vereinfachen, wird die Wand als eine im Raum senkrecht stehende Ebene angenommen. Ist die Position dieser Ebene wie die Position des Messgerätes bekannt, können die Koordinaten von Punkten auf der Originalwand durch einfache Schnittberechnungen mit der als Bezugsfläche definierten, senkrecht stehenden Wand bestimmt werden. Wie der Grundrissdarstellung leicht zu entnehmen ist, werden Punkte, die um den Betrag Δl außerhalb der Wand liegen je nach Schnittwinkel um den Betrag Δr versetzt abgebildet; gleiches gilt für eine Punktverzerrung in der Höhe. Dieser Fehlereinfluss tritt bei den unterschiedlichen Messverfahren auf und muss dort entsprechend berücksichtigt werden.

Werden während der Bauaufnahme die hier beschriebenen vereinfachten Verfahren zur Erfassung eingesetzt, sollte hinreichend beachtet werden, dass durch die Abbildung auf eine neue Bezugsfläche ein Modellierungsvorgang ausgeführt wird, der nach dem in der 'Allgemeinen Modelltheorie' entwickelten Verständnis gegenüber dem Original einen reduzierten Inhalt verursacht. Dies gilt nicht nur für die geometrische Richtigkeit, sondern auch für die inhaltliche Aussage, da durch die Abbildung auf eine ebene Bezugsfläche wesentliche Informationen verloren gehen können. So ist z.B. eine am Original senk-

[16] Besonders ist dies z.B. bei der photogrammetrischen Entzerrung oder der Abbildung von Gewölben zu beachten; vgl. Kap. 5.3.2, 'Einbildauswertung'.

recht zur Bezugsebene liegende Öffnung zwar in ihrer Lage auf der Bezugsflächen zu modellieren, es kann aber keine Information über die Tiefe der Öffnung unmittelbar aus dem Modell abgeleitet werden. Von der abgewickelten Fläche kann nicht mehr vollständig auf die Beschaffenheit der Originaloberfläche geschlossen werden. Die Rücktransformation vom Modell zum Original würde für die Tiefenstaffelung des Objekts nicht mehr durchzuführen sein.

Diese Einschränkung wird bei vielen Messanordnungen bewusst gewählt, um den Vorgang der Objekterfassung auf eine Ebene zu beschränken und damit zu vereinfachen. Dies gilt besonders für die Modellierung ausgedehnter und komplexer Bauwerke, bei der eine vollständig dreidimensionale Modellierung gar nicht oder nur unter sehr hohem Aufwand zu leisten ist. Auch wenn mit modernen CAD-Programmen eine dreidimensionale Darstellung prinzipiell möglich ist, so wird dennoch vielfach eine Modellierung in definierten Schnitten vorgenommen[17]. Eine Beschränkung der Modellierung auf ausgewählte Schnittebenen gestattet die Konzentration auf bauwerkstypische Charakteristika und wesentliche Inhalte, die besser herausgearbeitet und deutlicher aufgezeigt werden können. Für viele Zwecke ist die Erfassung in Schnitten auch deshalb vorteilhaft, weil Objektbereiche nicht immer mit gleicher Relevanz in dreidimensionalen Koordinaten modelliert werden müssen. Eine Modellierung im Längs- oder im Querschnitt kann für den Zweck ausreichend sein und ist manchmal die einzige Möglichkeit, um wichtige von unwichtigen Informationen trennen zu können. Der Verlust der dritten Dimension wird zu Gunsten der Betonung einer bestimmten inhaltlichen Aussage aufgegeben.

4.2.3 Realisierung von Koordinatensystemen

Mit dem Begriff 'Realisierung' wird im Zusammenhang von Koordinatensystemen die physikalische Repräsentation eines Bezugssystems am Bauaufnahmeobjekt verstanden.

Für die polaren Koordinatensysteme wird die Realisierung durch Aufstellen des Messgerätes und das Festlegen einer Bezugsgeraden vorgenommen. Auf diesen Vorgang muss hier nicht weiter eingegangen werden. Rechtwinklige Koordinatensysteme lassen sich grundsätzlich durch zwei verschiedene Arten am Objekt festlegen. Entweder werden die Koordinatenachsen bzw. dazu parallele Geraden direkt am Objekt markiert oder ein Festpunktfeld wird eingerichtet, dessen Punkte im Bezugssystem bestimmte Koordinaten aufweisen. Alle weiteren Messungen können sich auf diese Festpunkte beziehen und so einen mittelbaren Bezug zum Koordinatensystem sicherstellen.

4.2.3.1 Schnurgerüste

Sollen die Koordinatenachsen am Objekt markiert werden, wird vielfach auf die einfachen Hilfsmittel Lotschnur, Wasserwaage und Bandmaß zurückgegriffen. Die Markierung von Koordinatensystemen für eine Grundrissmessung[18] erfolgt durch das Einrichten von rechtwinklig zueinanderstehenden Schnüren als Messnetz (Abb. 4.9a). Bei einigen Anwendungen werden auch Koordinatensysteme aus sich schiefwinklig schneidenden Schnüren als Messnetz aufgespannt (Abb. 4.9b). Alle für das Netz notwendigen Streckenangaben und Kontrollmaße werden durch Bandmaßmessungen[19] ausgeführt.

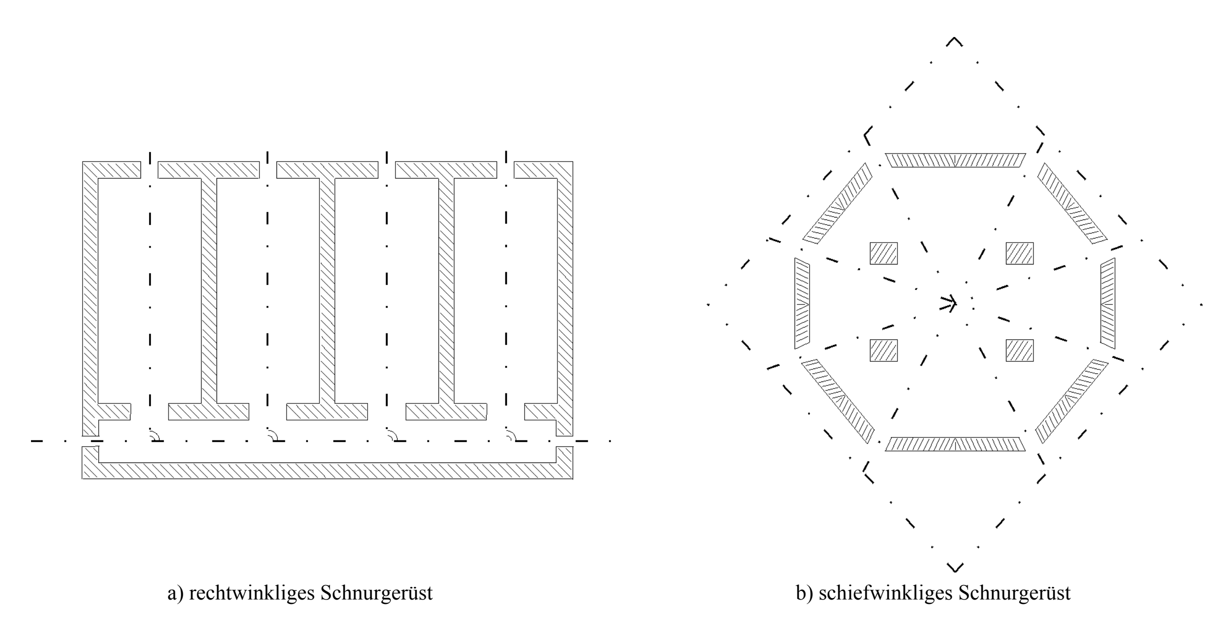
Die Abbildungen der Messanordnung von Schnurgerüsten zeigt anschaulich die Vorteile und Probleme dieser Art der Koordinatennetzrealisierung. Schnüre stören den eigentlichen Messvorgang, mit der Folge, dass sie durch Unachtsamkeit während der Messung leicht in ihrer Lage verändert werden können.

---

[17] Für Übersichtsdarstellungen ist der Wert von 3D-Modellen nicht hoch genug einzuschätzen; vgl. Kap. 4.3, 'Datenstrukturierung und -darstellung '.

[18] Vielfach wird der Grundriss in einem Meter Höhe über Fußbodenniveau gemessen, um Öffnungen im Grundrissplan darstellen zu können. Die Höhe dieses so genannten 'Meterrisses' muss (durch Nivellement) festgelegt werden.

[19] Auf Messung der grundrissparallelen Horizontalstrecken ist zu achten.



a) rechtwinkliges Schnurgerüst b) schiefwinkliges Schnurgerüst

Abb. 4.9: Schnurgerüste als Koordinatennetze für die Grundrissmessung

Die Schnittpunkte der Schnurgerüste sind zumindest bei langen Schnüren nur mit einer Genauigkeit kaum besser als 1cm festzulegen. Werden auf dieser Grundlage neue Schnüre in das System eingehängt, so werden Fehler durch das gesamte Messnetz fortgeführt. Ein wesentlicher Nachteil ist der nur sehr aufwändig herzustellende Bezug zwischen innerhalb und außerhalb des Gebäudes verlaufenden Schnüren sowie zwischen verschiedenen Geschossen. Schnurgerüste sind als Messnetze nur bei kleinen, einfach aufgebauten Gebäuden sinnvoll und wirtschaftlich einzusetzen.

Sollen Schnitte und Ansichten erfasst werden, so lassen sich unter Einsatz von Lotschnur, Wasserwaage oder Nivellier ohne großen technischen Aufwand sehr einfach zu verwendende Koordinatensysteme realisieren (Abb. 4.10). Durch Aufhängen eines Lotes wird eine vertikale Lotlinie als eine Achse eines zweidimensionalen Bezugssystems festgelegt. Mit der Wasserwaage wird eine horizontale Bezugsgerade als zweite Achse auf eine Höhe einnivelliert. Durch Einsatz eines Rotationslasers können vertikale, horizontale und schief im Raum liegende Ebenen einfach und schnell definiert werden.

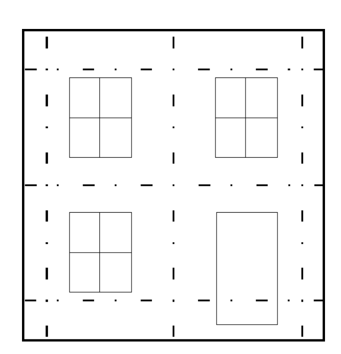


Abb. 4.10: Schnurgerüst für Ansichten und Schnitte

Das Einrichten von Messsystemen mit Schnüren und Wasserwaage ist eng abgestimmt auf das zu erzielende Ergebnis des Modellierungsprozesses. Als Resultat der Bauaufnahme soll bei vielen Anwendungen ein Plan entstehen, der das Bauwerk oder Teile davon in einer definierten Schnittebene durch Parallelprojektion wiedergibt. Somit handelt es sich hierbei um eine Abbildung eines dreidimensionalen Objektes in eine zweidimensionale Bezugsebene. Die Realisierung des Bezugssystems durch sich senkrecht schneidende Linien am Bauwerk entspricht der Vorgehensweise während der Zeichnung des Schnittplans. Die Objektgeometrie kann entlang der aufgespannten Schnüre gemessen und direkt in den Plan übertragen werden. Anhand der Schnüre ist anschaulich am Objekt abzulesen, in welcher Schnittebene die Modellierung erfolgen soll und wie die endgültige Darstellung im verkleinerten Maßstab aussehen wird. Diese Anschaulichkeit macht einen bedeutenden Vorteil der Verwendung von Schnurgerüsten zur Realisierung

von Bezugssystemen aus. Die mathematische Abbildung des dreidimensionalen Objektes in die Bezugsebene wird durch die Arbeitsweise während der Messung vorgenommen, ohne dass ein separater Arbeitsschritt notwendig wird. Die in der Abbildung darzustellenden Längen werden direkt am Objekt gemessen, es müssen keine abgeleiteten Größen berechnet werden. Fehlereinflüsse, die bei anderen Arten der Abbildung in eine Bezugsebene auftreten können[20], lassen sich durch die direkte Kennzeichnung der Abbildungsebene am Bauwerk und das achsparallele Messen weitgehend vermeiden.

Das Leistungspotenzial von Schnurgerüsten kann bei kleinen Objekten mit überwiegend ebenen Strukturen und ohne eine zwingende Notwendigkeit des übergeordneten Koordinatenanschlusses voll ausgeschöpft werden[21]. Bei größeren Objekten mit hohen Anforderungen an die geometrische Genauigkeit ist aber zwingend das im Folgenden beschriebene geodätische Festpunktfeld als Realisierung eines Bezugssystems einzusetzen.

4.2.3.2 Geodätische Festpunktfelder

Ein durch geodätische Messungen bestimmtes Grundlagennetz ist für die Erfassung größerer Bauwerke unbedingte Voraussetzung. Hauptsächlicher Vorteil eines geodätischen Festpunktfeldes ist die flexible Wahl der Position der Netzpunkte bei homogener Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Punktkoordinaten. Werden die Messungen z.B. mit Präzisionstachymetern ausgeführt und anschließend einer Netzausgleichung unterzogen, lassen sich Koordinaten mit einer absoluten Genauigkeit besser 5 mm bereitstellen[22].

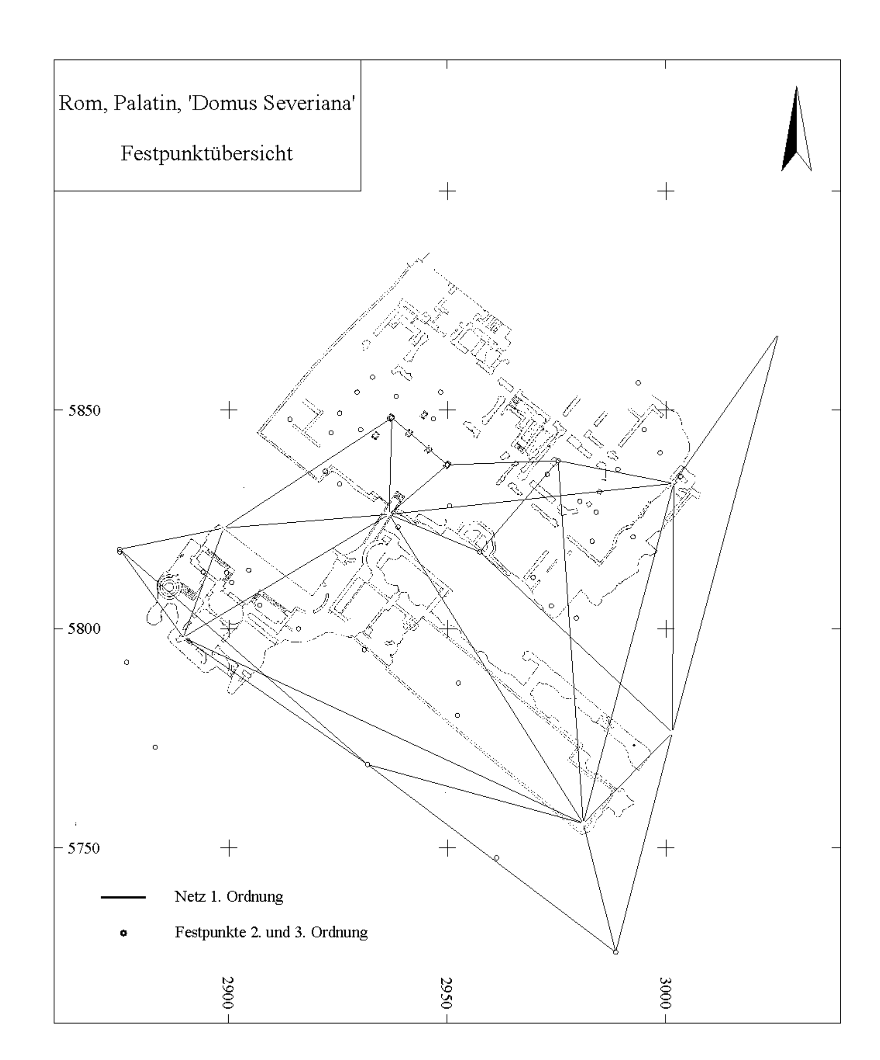


Abb. 4.11: Festpunktfeld

[20] wie in Abb. 4.8 anschaulich dargelegt

[21] Für weitere Beispiel zur Anlage von Schnurgerüsten vgl. z.B. [CRAMER, 1993; WANGERIN, 1992; WULF-RHEIDT, WOLF, 1996].

[22] Die Anlage und Berechnung von Festpunktfeldern kann der Fachliteratur entnommen werden [z.B. MÖSER et al., 2000; PELZER, 1980].

Für alle Punkte des Festpunktfeldes sollten dreidimensionale Koordinaten bestimmt werden, damit überall Grundriss- und Höhenkoordinaten zur Verfügung stehen. Eine Trennung in Lagefestpunkte und Höhenfestpunkte, wie bei konventionellen geodätischen Fragestellungen oft üblich, ist nicht sinnvoll.

Werden ausgehend von den Punkten des Festpunktfeldes weitere Detailmessungen ausgeführt, können diese aufgrund des gemeinsamen dreidimensionalen Koordinatenbezugs aufeinander bezogen werden, unabhängig von Punktlagen und Sichtachsen. Damit ist eine größtmögliche Freiheit und Flexibilität während der Messungen sichergestellt, Zwangsbedingungen in der Netzgeometrie, wie bei der Anlage von Schnurgerüsten häufig anzutreffen, bestehen in der Regel nicht. Abbildung 4.11 zeigt ein typisches Festpunktfeld, auf dessen Grundlage ein Objekt in seiner Gesamtheit erfasst werden kann. Die Koordinaten der Punkte der so genannten 1. Ordnung sind in einer Gesamtausgleichung berechnet worden, sodass ein homogenes, hochgenaues übergeordnetes Festpunktfeld zur Verfügung steht. Idealerweise sollten alle direkt benachbarten Punkte durch Messungen miteinander verbunden werden. Durch ein derartig berechnetes Netz 1. Ordnung kann bei größeren Objekten der Koordinatenbezug nicht in allen Teilbereichen sichergestellt werden. Für eine Verdichtung des Festpunktfeldes sind nachgeordnete Punkte anzulegen, deren Koordinaten durch ergänzende Polygonzugsmessungen oder polar ausgeführte Messungen zu bestimmen sind. Meist können diese Punkte mit einer geringfügig reduzierten Genauigkeit als das übergeordnete Netz 1. Ordnung bestimmt werden. Erst durch diese Punkte der so genannten 2. oder 3. Ordnung kann der übergeordnete Bezug in jedem Bereich des Objekts garantiert werden.

Ein geodätisches Festpunktfeld kann als Grundlage für Schnurgerüstmessungen eingerichtet werden, wobei die vertikalen Achsen des Messnetzes meistens mit dem Theodolit aufgespannt werden. Durch Messung zu den Festpunkten wird die Verbindung zwischen den einzelnen Achsen z.B. von innen nach außen oder über Geschosse hinweg hergestellt.

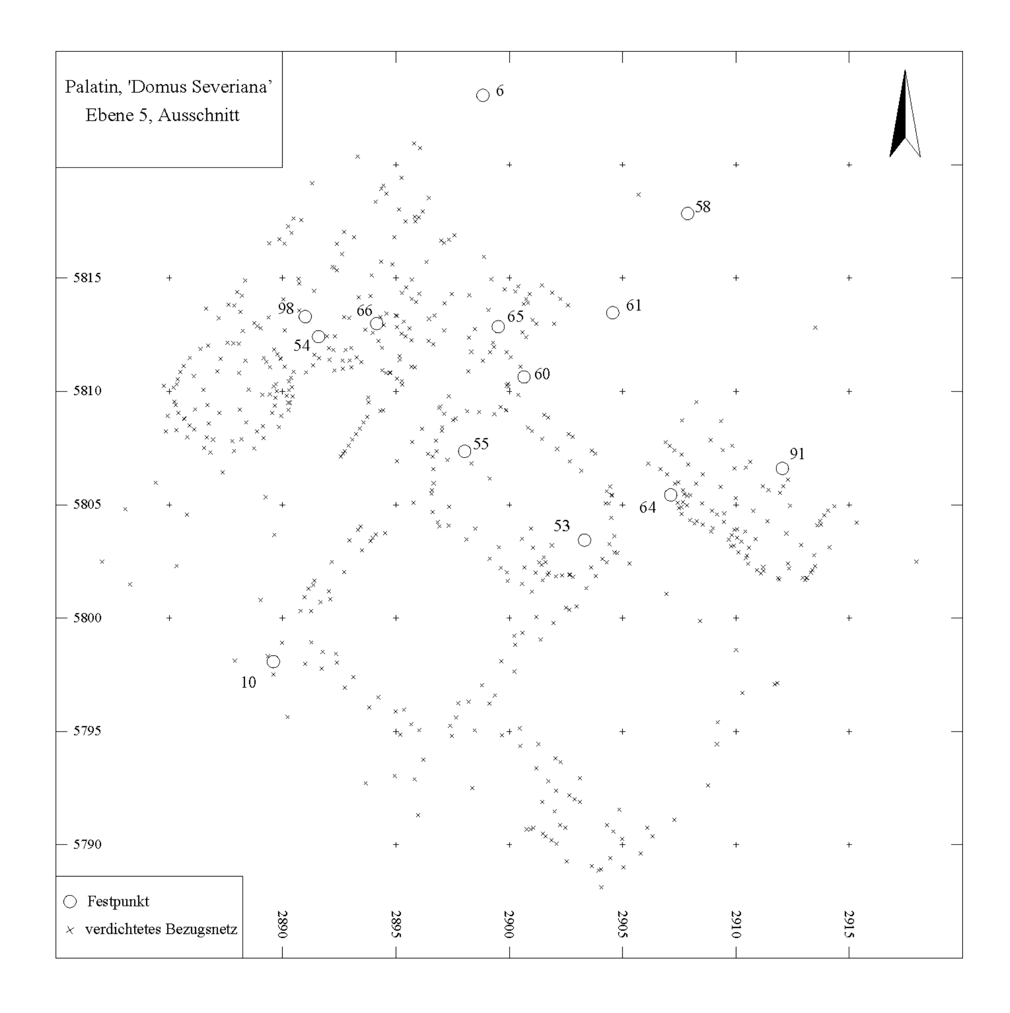


Abb. 4.12: Verdichtetes Bezugsnetz

Das Potenzial eines dreidimensionalen Bezugsnetzes wird aber erst durch eine enge Verdichtung des Koordinatennetzes vollständig genutzt. Unter dem Begriff eines Festpunktes wird im Allgemeinen ein sicher vermarkter Punkt verstanden, der Koordinaten im übergeordneten System aufweist und Bezugspunkt für alle weiteren Messungen ist. Bei allen sonst üblichen geodätischen Fragestellungen sind die Detailmessungen Endergebnis des Messvorganges, aus ihnen wird normalerweise der Plan des Objektes als abschließendes Resultat des Modellierungsprozesses abgeleitet. Diese polar bestimmten Objektpunkte können aber wiederum als Grundlage für weitere verdichtende Messungen genutzt werden. Das Ausdehnen von Koordinatennetzen auch auf den kleinräumigen Bereich der Detailmessungen stellt eine verdichteten Bezugsrahmen für jede ergänzende Objekterfassung bereit. Je nach Anforderung können z.B. im Abstand von einem Meter Punkte durch tachymetrisch ausgeführte Polarpunktmessungen bestimmt werden, von denen unter Einsatz einfacher Messwerkzeuge die eigentliche geometrische Modellierung erfolgen kann.

Die Abbildung 4.12 zeigt ein Beispiel für ein eng verdichtetes Bezugsnetz. Hier wurden Punkte an den wichtigen Objektstrukturen vor Ort markiert, tachymetrisch bestimmt und geplottet. Die bestimmten Koordinaten weisen – abhängig von der Genauigkeit bei der Punktauswahl – eine hohe relative Genauigkeit auf. Die absolute Genauigkeit ist nur wenig geringer als die des übergeordneten Koordinatennetzes.

Ist diese Arbeitsweise für Grundrissmessungen schon mehrfach erprobt [z.B. WULF-RHEIDT, 2001], so wird bei Schnittmessungen nur selten auf das Verfahren des verdichteten Koordinatennetzes zurückgegriffen[23].

4.3 Datenstrukturierung und -darstellung

Während einer Bauaufnahme sind vielfältige Informationen zu erfassen, zu modellieren und darzustellen. Damit das vom Original abgeleitete Modell für eine spätere Verwendung genutzt werden kann, müssen die geometrischen und inhaltlichen Bauwerksparameter in Bezug auf die Anforderungen der unterschiedlichen Anwendungsgebiete aufbereitet werden. Dabei besteht die Hauptaufgabe der Modellierung darin, eine sinnvolle Strukturierung und angemessene Darstellung zu gewährleisten. Sind die Daten schlecht strukturiert, kann keine übersichtliche Präsentation vorgenommen werden; liegt ein optimal organisiertes Datenmodell vor, das aber nicht anschaulich dargestellt wird, verfehlt die Modellierung ebenfalls ihren Zweck. Die den einzelnen Bauaufnahmemethoden innewohnenden Strukturierungs- und Darstellungspotenziale legen vielfach eine eingeschränkte Art der Datenverarbeitung und Ergebnisdarstellung nahe, was dazu führen würde, dass bestimmte Vorgehensweisen von vornherein nicht in Betracht zu ziehen wären. Auf die Entscheidung über Form und Art der Datenstrukturierung und -darstellung sollten aber nicht die für die Bauaufnahme einzusetzenden Methoden, sondern die vom Objekt und dem Verwendungszweck abzuleitenden Anforderungen Einfluss nehmen. Somit sind die nachfolgenden Überlegungen zwar mit den Bauaufnahmemethoden zum Teil eng verbunden, sie sollten aber trotzdem unabhängig von diesen in einem eigenständigen Entscheidungsvorgang angestellt werden.

In Kapitel 2.1, 'Der allgemeine Modellbegriff', ist eine Unterscheidung in drei verschiedene Arten von Modellen nach deren Präsentationsform vorgenommen worden: grafische, technische und semantische Modelle. Zu den semantischen Modellen können alle Arten von schriftlichen Aufzeichnungen gezählt werden, in die technischen Modelle sind real gebaute Modelle ebenso wie 3D-Computermodelle einzuordnen. Für die Bauaufnahme nehmen die grafischen Modelle eine besondere Bedeutung ein, werden doch die meisten Bauaufnahmen in Form von Bildern, Plänen, Zeichnungen und Skizzen präsentiert. Hierbei sind von der reinen bild- bis zur symbolhaften Darstellung, die nur über eine erklärende Legende zu verstehen ist, alle Abstufungen denkbar. In einer fotografischen Abbildung sind viele der am Original sichtbaren Informationen enthalten, wobei mit Ausnahme des technisch bedingten Informationsverlustes keine Reduktion während dieser Modellierung der Objektoberfläche zu verzeichnen ist. Bei den interpretierenden Bauaufnahmemethoden wird dagegen eine Darstellung mit geringerer Informationsdichte erstellt. Für die interpretierende Modellierung werden auch bei Verwendung der grafischen Modelle die derivativen Operationen eingesetzt, wie sie im Rahmen der 'Allgemeinen Modelltheorie' für die semantischen Modelle formuliert worden sind. Hierbei sind in erster Linie die Informationsreduktion, die

[23] vgl. Kap. 6.2, 'Praktische Umsetzung einer methodenkombinierenden Bauaufnahmestrategie'

Abstraktion oder Generalisierung[24] sowie die Interpretation zu nennen. Diese interpretierende Bewertung der Bauwerkseigenschaften kann auch als Strukturierung nach durch den Bauaufnahmezweck bestimmten Kriterien aufgefasst werden. So erfordert die Reduktion der geometrischen Objekteigenschaften in eine punkt- oder linienhafte Darstellung eine inhaltliche Strukturierung, die nach der für den Modellierungszweck maßgeblichen Wichtigkeit der Informationen vorgenommen werden muss. Diese einfache Strukturierung in Form von Weglassen und Betonen kann nicht für alle Bauwerksattribute eingesetzt werden. Die über die Geometrie hinausgehenden Eigenschaften müssen z.T. in komplexen Datenmodellen gegliedert werden, um sie für eine weitergehende Auswertung mit anschließender Darstellung nutzen zu können. Je höher der Grad an derivativen Operationen im Verlauf der Bauwerksmodellierung ist, desto mehr müssen die erfassten Informationen strukturiert und angemessen präsentiert werden.

Somit sind die Überlegungen zur Datenstruktur und Ergebnisdarstellung entscheidende Faktoren, die Verlauf und Resultat der Bauaufnahme maßgeblich beeinflussen können. Vor dem Hintergrund des Bauaufnahmezwecks ist die Entscheidung über eine geeignete Bauaufnahmemethode nur in Abwägung mit den Anforderungen zur Datenstrukturierung und Ergebnispräsentation zu treffen.

Die Strukturierung und Darstellung kann mit verschiedenen Werkzeugen und Methoden ausgeführt werden, wobei viele der grundsätzlichen Prinzipien unabhängig vom Darstellungsmedium gelten. Beginnend von analogen grafischen Darstellungen über die CAD basierte Strukturierung mit zwei- bzw. dreidimensionaler Darstellung einschließlich der verschiedenen animierten Visualisierungsmöglichkeiten bis zur objektorientierten Modellierung in Informationssystemen werden nachfolgend die wesentlichen Merkmale und Anforderungen der unterschiedlichen Verfahren erarbeitet.

4.3.1 Strukturierung und Darstellung unter Verwendung von Bildern, analogen Plänen und textlichen Beschreibungen

Die Notwendigkeit der inhaltlichen Strukturierung während der Bauaufnahme ist am Beispiel einer fotografischen Abbildung in Gegenüberstellung der daraus abgeleiteten linienhaften Darstellung anschaulich nachzuvollziehen (Abb. 4.13). Das in Abbildung 4.13 oben dargestellte Messbild enthält durch die fotografische Abbildung eine hohe, aber unstrukturierte Informationsdichte. Hierbei fällt dem Betrachter auf den ersten Blick keine Eigenschaft besonders auf, alle Informationen der sichtbaren Objektoberfläche sind durch den fotografischen Prozess gleichgewichtet abgebildet.

Die unten angeordnete linienhafte Auswertung ist durch eine erhebliche Reduktion im Inhalt gekennzeichnet, die dazu führt, dass die dargestellten Linien und Kanten eine auffallende Bedeutung erlangen. Auf den ersten Blick wird deutlich, dass während der Bauaufnahme eine Strukturierung stattgefunden hat, in deren Ergebnis nur die wichtigen Bauwerkselemente in ihrer Geometrie modelliert werden. Im Vergleich zu der fotografischen Abbildung kann in der Linienabbildung sehr leicht erkannt werden, dass die dargestellten Segmente der Fassade nicht absolut identisch ausgeführt worden sind. Beispielsweise fehlen im rechten Kompartiment die profilierten Pfeiler unter dem äußeren Blendbogen. Weiterhin ist an dem Fassadenplan auch die durch den Geländeanstieg verursachte unterschiedliche Gestaltung in der Höhe abzulesen. Durch die linienhafte Visualisierung ist der Betrachter während der Wahrnehmung in der Lage, die Elemente leicht zu erkennen, die aus dem visuellen Grundmuster – hier die Segmentbreite oder die horizontalen Linien – herausfallen[25]. Auch wenn diese Art der Strukturierung während einer Bauaufnahme meist unbewusst vollzogen wird, übt der hier angewendete Vorgang des Weglassens einen besonders starken Einfluss auf das Ergebnis der Modellierung aus. Das Datenmodell ist quasi binär organisiert, indem es nur aus den erfassten Linien und den nicht erfassten, weißen Flächen besteht. Die Bedeutung des Dargestellten erschließt sich dem Betrachter nur, wenn er die geometrischen und topologischen Beziehungen vor seinem ganz persönlichen Erfahrungshorizont einordnen kann.

[24] Auf die Problematik bei der Anwendung der kartographischen Generalisierung ist schon im Kapitel 4.1, 'Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme' eingegangen worden.

[25] vgl. hierzu [HOVESTADT, 1998]

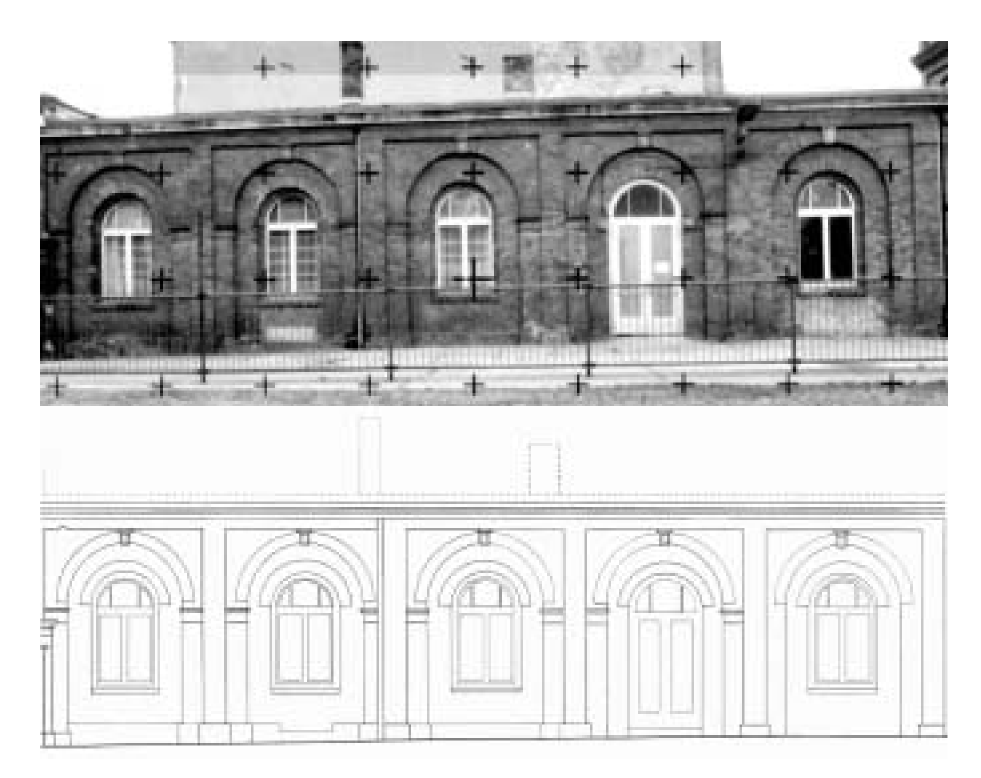


Abb. 4.13: Strukturierung und Darstellung von Bauwerksinformationen

Eine weitergehende Strukturierung lässt sich vornehmen, wenn durch unterschiedliche Strichstärken oder signaturenhafte Stricharten eine Gewichtung des Inhalts vorgenommen wird bzw. den Linien verschiedene Bedeutungen zugewiesen werden (Abb. 4.14). Ergänzend können besondere Inhalte über Schraffuren, Farben, andere Signaturen oder Textkommentare eine nachvollziehbare Aufteilung und leicht verständliche Lesbarkeit des Planinhaltes sicherstellen.

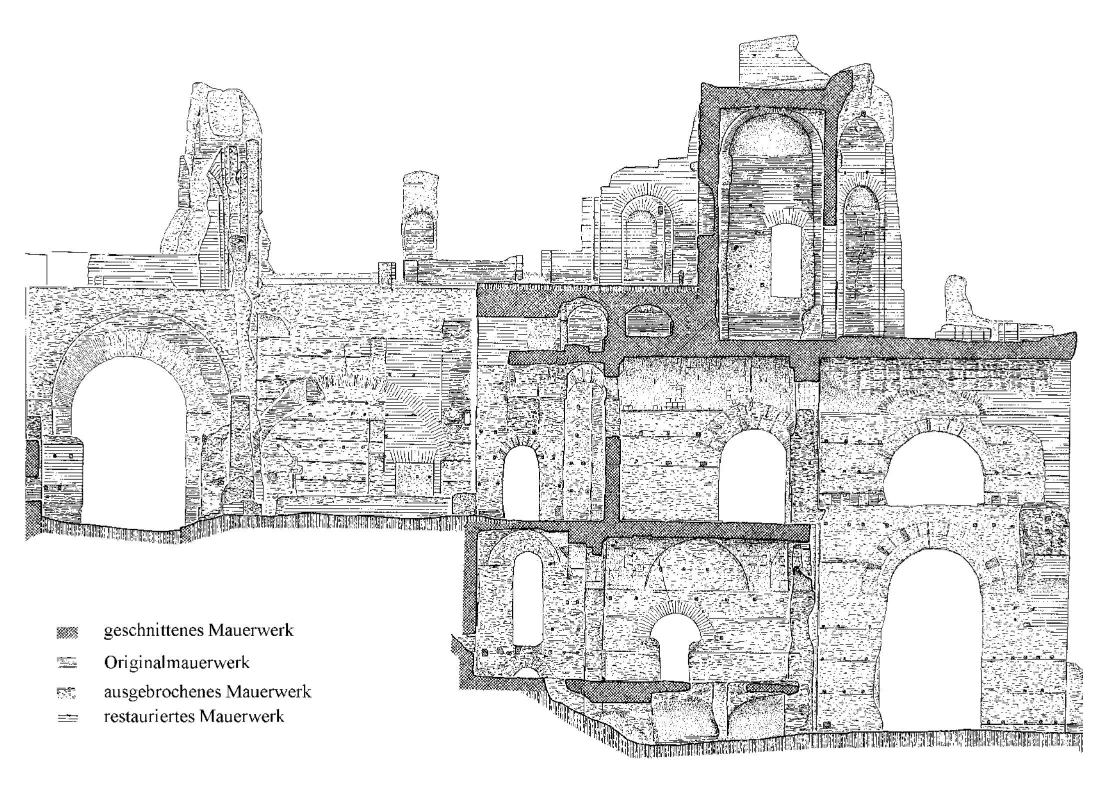
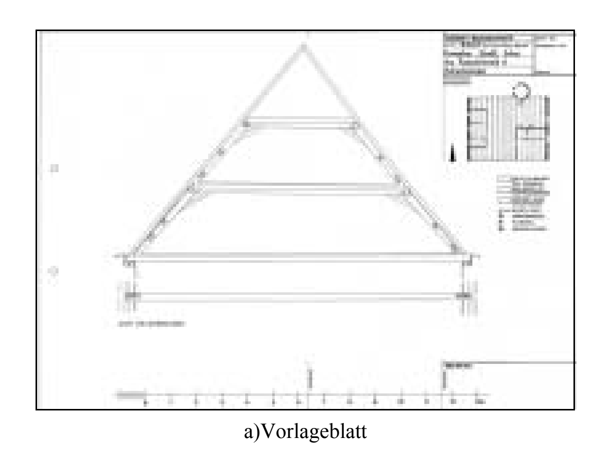


Abb. 4.14: Strukturierung von Planinhalten durch Variation von Strichstärken und den Einsatz unterschiedlicher Signaturen (Zeichnung: H. Lehmann)

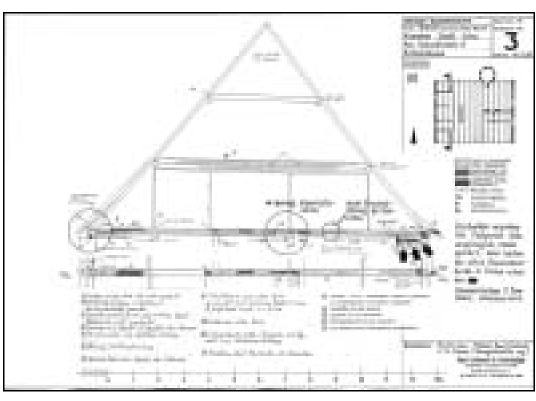
Die Bedeutung der eingesetzten Signaturen ist in einer Legende zu erläutern, wobei möglichst alle verwendeten Signaturen erklärt werden sollen, auch wenn diese für den Bearbeiter keiner Erklärung bedürfen. Nur anhand des Planes können die dargestellten Inhalte im Kommunikationsprozess zwischen dem Bearbeiter und allen weiteren Nutzern vermittelt werden. Eine ausführliche Legende ist unerlässlich, damit das Ergebnis der Bauaufnahme möglichst vielfältig verwendet werden kann und keine Fehlinterpretationen aus Unkenntnis der Bedeutung der verwendeten Signaturen entsteht. Dies gilt besonders, wenn der Plan außerhalb seines ursprünglichen Verwendungszwecks unter einer anderen Fragestellung eingesetzt wird.

Wie jedoch im Zusammenhang des Darstellungsmaßstabes bereits dargelegt, ist der Informationsgehalt des Planes abhängig vom verwendeten Maßstab. Damit die Übersichtlichkeit und Lesbarkeit erhalten bleibt, sind für eine weitere Aufteilung der Bauaufnahmeinhalte verschiedene Folien anzulegen, in denen ergänzende Informationen strukturiert erfasst werden können und gleichzeitig der geometrische Bezug zum Originalplan durch Passmarken erhalten bleibt. Das Folienprinzip kann bereits während der Bauaufnahme vor Ort eingesetzt werden oder auch im Nachhinein, wenn z.B. bildhafte Darstellungen als Kartierungsgrundlage für ergänzende Auswertungen verwendet werden.

Das Folienprinzip ist methodische Grundlage für eine weitergehende Gruppierung von Bauwerksinformationen. Kommt an einem Bauwerk ein Bauteil oder eine Gruppe von Bauteilen in regelmäßiger Abfolge vor, kann es für einige Anwendungsfälle (z.B. zur Untersuchung von Dachstühlen) ausreichend sein, die detaillierte geometrische Erfassung an nur einem Bauteil vorzunehmen. Für alle anderen Bauteile dieser Art wird die Darstellung des ersten Bauteils kopiert und im Rahmen einer ergänzenden Bauaufnahme werden die Abweichungen oder Besonderheiten in die Vorlage eingetragen [z.B. MADER, 1993]. In diesen Fällen stellt die erste detaillierte Erfassung eines Bauteils die Kartierungsgrundlage für alle weiteren dar. Methodisch gesehen wird während der Ersterfassung ein Modell – auch Prototyp genannt – in der Stufenhierarchie der Modellierung erzeugt. Dieser Prototyp ist in einem zweiten Modellierungsschritt an die individuellen Eigenschaften des Originals anzupassen, wobei der Prototyp als erstes Modell durch den erneuten Rückgriff auf das Original in seiner inhaltlichen und geometrischen Aussage verbessert wird.



a)Vorlageblatt



b) mit Beobachtungen, Ergänzungen, Details

Abb. 4.15: Vorlageblatt zur Bauaufnahme von Dachstühlen [MADER, 1993]

Um noch weiterreichende Informationen im Rahmen einer Bauaufnahme erfassen, strukturieren und darstellen zu können, lassen sich detailliertere Informationen separat vom ursprünglichen Plan vermitteln. Dabei werden besonders interessante Bauwerksinformationen vertiefend untersucht und entweder mit Zeichnungen größeren Maßstabes, ergänzenden Skizzen oder Fotos sowie textlichen Ausführungen dargestellt. Die Strukturierung erfolgt über in den Plan eingetragene Markierungen, die aus Pfeilen (Abb. 4.15b), Nummern, Buchstaben oder jedem anderen Ordnungssystem bestehen können. Ihre Optimierung hat diese Art der Strukturierung für ergänzende inhaltliche Informationen im so genannten Raumbuch gefunden, bei dem eine Ordnungsstruktur entwickelt worden ist, die auf alle raumbezogen strukturierten Objekte angewendet werden kann[26].

[26] vgl. Kap. 3.4, 'Die Anwendung in der Denkmalpflege' sowie [SCHMIDT, W., 1988].

4.3.2 Strukturierung und Darstellung unter Verwendung von CAD-Programmen

Im Bereich der Architektur finden CAD-Programme in den unterschiedlichsten Aufgabengebieten Anwendung. Im einfachsten Fall lassen sich die CAD-Programme als Zeichen- und Darstellungshilfsmittel verwenden. Sie werden im Sinne der wörtlichen Bedeutung des Begriffs CAD (*C*omputer *A*ided *D*esign) zum Computer gestützten Konstruieren z.B. im Verlauf von Entwurfsprojekten eingesetzt. Die daraus entstandenen dreidimensionalen CAD-Modelle können als zweidimensionale Abbildung, in Form von abgeleiteten Ansichten und Schnitten oder in aufwändigen Computeranimationen dargestellt werden. Mittlerweile erfüllen aber auch viele CAD-Systeme teilweise oder vollständig die Funktion eines Informationssystems. Aufgrund ihrer hohen Leistungsfähigkeit stellen CAD-Programme auch ein wertvolles Hilfsmittel zur Erfassung, Modellierung und Darstellung von Baugliedern, Bauwerken oder großen Baukomplexen dar und lassen sich grundsätzlich in allen Einsatzgebieten der Bauaufnahme anwenden.

Bevor im Folgenden auf die wesentlichen Merkmale im Umgang mit CAD-Systemen eingegangen wird, soll einleitend eine CAD-Datenstruktur vorgestellt werden wie sie nahezu in allen Programmen Verwendung findet. Ein typisches CAD-Datenmodell lässt sich in drei Bereiche einteilen, die untereinander in sehr engem Bezug stehen (Abb. 4.16, links).

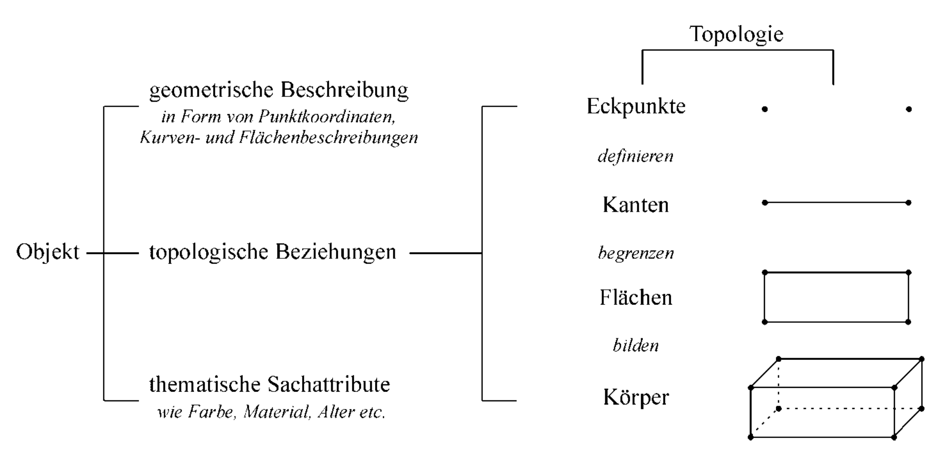


Abb. 4.16: CAD-Datenmodell

In drei Modellklassen sind die geometrischen Basisgrößen (Punkt, Kurve, Fläche), die topologischen Beziehungen sowie die thematischen Sachattribute einzuordnen. Die geometrischen Typen Punkt, Kurve und Oberfläche beschreiben jede beliebige Geometrie durch Punktkoordinaten und die dazu gehörende analytische Form. Hierbei ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass das 3D-Elemente Punkt zwar als 3D-Koordinate existiert, aber für sich genommen keine Dimension aufweist und somit auch nicht sichtbar ist. Der 3D-Punkt kann als Einfügepunkt für eine Punktsignatur verwendet werden, oder er kann in Kombination mit einem zweiten Punkt eine Kurve repräsentieren. Kurven können aus geraden Linien oder komplexen Geometrien bestehen, mehrere Kurven definieren eine Oberfläche. Aus den Oberflächen lassen sich beliebig aufgebaute andere geometrische Objekte zusammensetzen. Die topologischen Elemente geben nachbarschaftliche und hierarchische Beziehungen wieder (Abb. 4.16, rechts). Ein Eckpunkt ist Anfangs- oder Endpunkt einer Kante, die wiederum die Begrenzungslinie einer Fläche darstellt. Mehrere Flächen definieren einen dreidimensionalen Körper, wobei mehrere Körper zu einem Objekt gruppiert werden können. In der Hierarchie zwischen Körper und Objekt sind weitere Zwischenstufen denkbar. Alle Elemente können mit beliebig vielen Sachattributen versehen werden, die ergänzende Informationen über das Element enthalten, mit denen entweder die Darstellung im CAD-Modell näher definiert wird oder aber innerhalb der eigentlichen CAD-Zeichnung nicht darstellbare Inhalte beschrieben werden.

4.3.2.1 CAD-Programme als Zeichen- und Konstruktionshilfen

Ein wesentliches Element, um die Bauaufnahme einfach und zuverlässig ausführen zu können, ist die zeitliche Einheit von Erfassung und Darstellung. Die Verwendung von digitalen Messmethoden, sei es während des Handaufmaßes, der Tachymetrie oder Photogrammetrie, ist besonders wirtschaftlich dann

auszuführen, wenn die erfassten Objekte sofort innerhalb eines CAD-Systems dargestellt werden können. Wenn das CAD-System als Zeichenprogramm online die Messwerte verarbeiten und darstellen kann, ist nicht nur eine sofortige Kontrollmöglichkeit gegeben, es können dann ebenso die Konstruktionshilfen des CAD-Systems für eine effektive Modellierung genutzt werden. Dabei wird dem Tachymeter oder photogrammetrischen Messmodul die Funktion eines Messwertgebers zugewiesen, der die Aufgabe einer Maus in konventionell arbeitenden Zeichenprogrammen erfüllt. Es können somit alle unterstützenden CAD-Befehle wie z.B. die Parallelität oder Rechtwinkligkeit von Linien, das Fällen eines Lotes auf eine Linie oder das Messen von verdeckten Punkten während des Messprozesses genutzt werden. Kann beispielsweise eine Raumecke aufgrund eines davor stehenden Möbelstücks nicht direkt angemessen werden, so sind jeweils zwei Punkte auf den an die Ecke angrenzenden Wänden zu messen. Diese Punkte definieren im Grundriss jeweils eine Gerade, die sich unter Verwendung CAD-Funktion 'Geradenschnitt' miteinander verschneiden lassen. Auf diese Art kann während der Messung die gesuchte Raumecke konstruktiv ermittelt werden. Diese Möglichkeiten sollten nur dann eingesetzt werden, wenn regelmäßige Raumgeometrien z.B. im Rahmen einer Erfassung für Gebäudeinformationssysteme erzeugt werden sollen. Für verformungsgerechte Bauaufnahmen sollten diese Konstruktionshilfen auf keinen Fall verwendet werden, da dort die tatsächlich Ecke und nicht die theoretisch konstruierte erfasst werden muss.

Als Zeichenhilfe und damit auch als Hilfe während einer tachymetrischen oder photogrammetrischen Erfassung[27] kann die Kopierfunktion der CAD-Systeme eingesetzt werden, wenn gleiche oder ähnliche Bauteile mehrfach am Objekt auftreten. Ist ein derartiger Prototyp einmal in seiner Geometrie bestimmt und in der Bibliothek der Objekttypen gespeichert worden, kann er an jeder beliebigen zwei- oder dreidimensionalen Position in die Zeichnung eingefügt werden. Dies ist nicht nur möglich, wenn Prototyp und jedes einzelne Originalbauteil absolut identisch in ihrer Geometrie sind, sondern auch dann, wenn sie zwar die gleiche geometrische Form aufweisen, aber in Dimension und räumlicher Ausrichtung unterschiedlich aufgebaut sind.

In diesen Fällen kann die Geometrie des Prototyps über Passpunkte an die Geometrie des Originals angepasst werden, wobei sich über räumliche Transformationen sowohl die Größe wie auch die Ausrichtung im Raum verändern lässt (Abb. 4.17)[28]. Nach der Transformation ist mit Hilfe der Restabweichungen in den Passpunkten eine Aussage zur Übereinstimmung von Original und Prototyp möglich. Diese Kontrollmöglichkeit besteht aber nur für die durch die Passpunkte repräsentierte Geometrie, weshalb das Kopieren von Prototypen bei verformungsgerechten Bauaufnahmen nicht eingesetzt werden sollte. Bei vorhandenen Abweichungen von der Geometrie des Prototyps in Form von Ausbrüchen, Vorsprüngen oder andere lokale Deformationen sind diese separat zu erfassen und in der CAD-Zeichnung zu ergänzen.

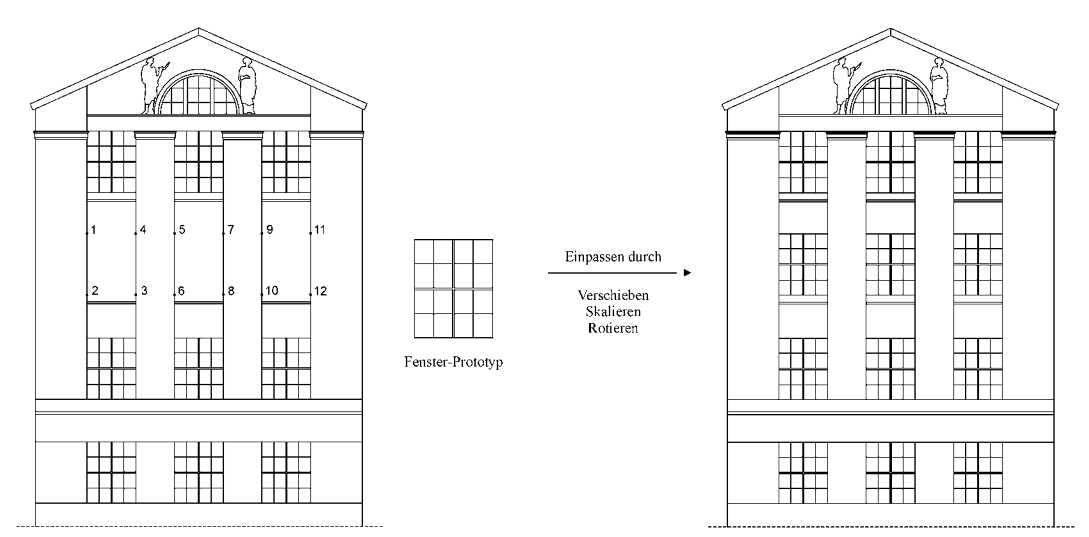


Abb. 4.17: Vereinfachte Erfassung unter Verwendung von Prototypen

[27] Für den Einsatz in der tachymetrischen Erfassung vgl. Kap. 5.2.3, 'Online-Darstellung tachymetrischer Messungen', auf die Anwendung in photogrammetrischen Mehrbildauswertung wird in Kap. 5.3.4.2, 'Mehrbildauswertung und CAD' eingegangen.

[28] Das Einfügen eines standardisierten Objekttyps unter Anpassung an gemessene Objektpunkte wird auch als Prototyp-Clone-Methode bezeichnet [KERN, 2001].

Die Anwendung der Prototyp-Methode ähnelt sehr dem Einsatz von Vorlageblättern während einer analogen Arbeitsweise. Im Gegensatz hierzu werden aber innerhalb der CAD-Programme für das kopierte Objekt zwei- bzw. dreidimensionale Koordinaten erzeugt, sodass die Kopie in den CAD-Datensatz konsistent integriert ist.

4.3.2.2 CAD-Programme als Hilfsmittel zur Strukturierung der Bauwerksinformationen

Die einfachste Art der Datenstrukturierung innerhalb der CAD-Programme ist das Zuweisen von Punkt-, Linien- oder Flächensignaturen in Form von Punktsymbolen, Strichstärken oder Linienarten sowie flächenhaften Signaturen. Wie bei der analogen Arbeitsweise handelt es sich hierbei ebenfalls um ein grafisch orientiertes Vorgehen, bei dem der Planinhalt durch verschiedene Zeichnungssymbole differenziert wird. Darüber hinaus kann mit den Signaturen innerhalb der CAD-Systeme sehr viel flexibler umgegangen werden, da sie im Datenmodell als Attribut des jeweiligen geometrischen Elements geführt und somit jederzeit verändert werden können. So lassen sich z.B. Linien sehr einfach in ihrer Strichstärke verändern, um ein neues Planlayout auf der selben geometrischen Grundlage mit wenig Aufwand herstellen zu können.

Innerhalb der CAD-Programmen wird das Folienprinzip in Form der Layer- oder Ebenenorganisation als einfachstes objektorientiertes Ordnungssystem eingesetzt. Dabei kann sowohl ein einzelnes Objekt als auch eine Gruppe von Objekten in einem Layer zusammengefasst werden, sodass eine horizontale Gliederung der Bauwerksinformationen in einer Hierarchieebene zu erzielen ist (Abb. 4.18).

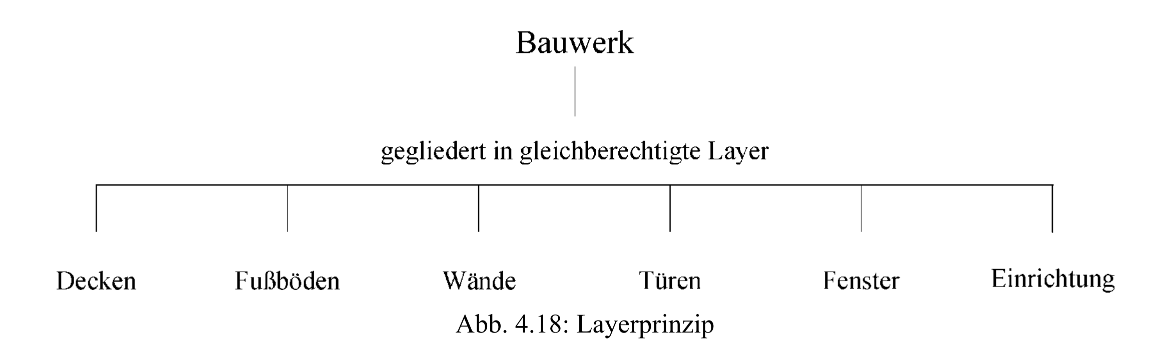


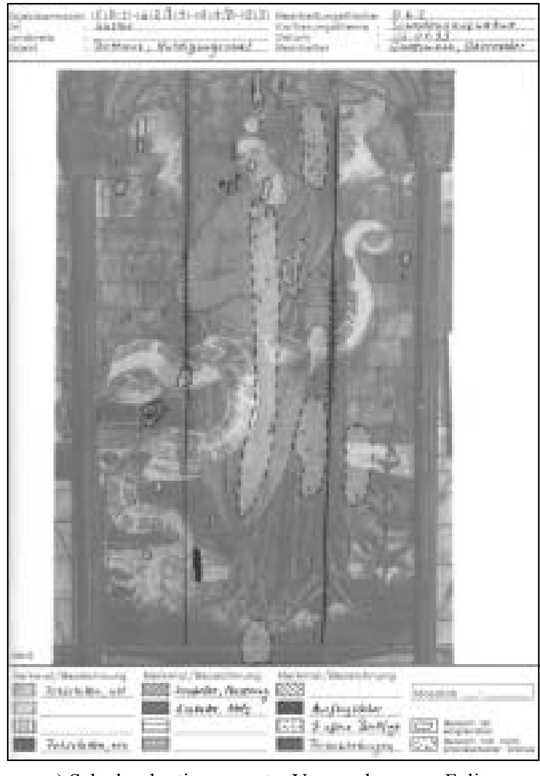
Abb. 4.18: Layerprinzip

Durch beliebiges Ein- und Ausblenden von Layern oder Ebenen kann eine Perfektionierung des Folienprinzips erzielt werden[29], bei der in der Regel der geometrische Bezug der einzelnen Ebenen untereinander genauer als bei einer manuellen Ausführung sicherzustellen ist, sofern der Raumbezug auch während der Erfassung in Form von zwei- oder dreidimensionalen Koordinaten mit entsprechender Genauigkeit realisiert wurde. Dieses gilt für den gesamten Verarbeitungsprozess, da digitale Pläne keinem Verzug infolge von Witterungseinflüssen unterliegen und auch ohne Genauigkeits- und Inhaltsverlust beliebig viele Kopien der Originaldateien angelegt werden können. Mit gleicher Genauigkeit können bildhafte Rasterdaten als neue Ebenen in das System integriert werden. Eine typische Anwendung der Kombination von Raster- und Vektordaten ist z.B. die Überlagerung eines entzerrten Messbildes mit einer Linienauswertung, um so die hohe Informationsdichte des Bildes in Kombination mit der interpretierenden Auswertung der linienhaften Darstellung für eine weitergehende Analyse zu nutzen (Abb. 4.19).

Weiterhin kann das Layer-Prinzip verwendet werden, um ergänzende Detailpläne in die CAD-Zeichnung integrieren zu können, ohne die Übersichtlichkeit des Gesamtplanes zu gefährden. Immer wenn von einzelnen Objektbereichen Modellierungen größeren Maßstabes notwendig sind, können diese während der Erfassung in separaten Layern abgelegt und bei Bedarf eingeblendet werden[30].

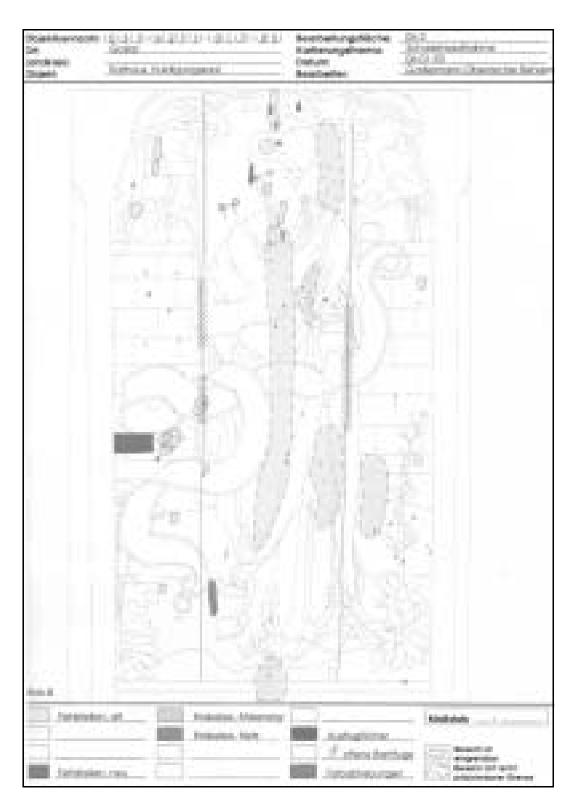
[29] Ein vordefiniertes Layer-Management für die archäologische Aufnahme ist z. B. in dem Programmsystem ArchäoCAD [ARCHÄOCAD, 2001] realisiert.

[30] Dies ist die einfachste Variante des 'logischen Zoomens', wie es in Kap. 4.1, 'Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme' vorgestellt worden ist.





a) Schadenskartierung unter Verwendung von Folien



b) Schadenskartierung mit CAD-Layern

Abb. 4.19: Schadenskartierungen nach dem Layer-Prinzip [BEHRENS, 1993]

In einigen Anwendungsgebieten, vor allem in der Denkmalpflege und in der Bauforschung, wird die Darstellung unter Verwendung von CAD-Systemen zum Teil prinzipiell in Frage gestellt. Als ein Hauptgrund wird die geringe grafische Qualität der CAD-Zeichnungen angeführt, die zudem oftmals mehr Zeit in Anspruch nimmt als eine in Freihand ausgeführte Planausgestaltung[31]. Dabei ist die Qualität der Zeichnung nicht in erster Linie von der eingesetzten Technik abhängig, sondern vielmehr von der Sorgfalt und Intensität der grafischen Gestaltung. Um auch mit CAD-Programmen ansprechende Pläne gestalten zu können, sind die Festlegungen über Signaturen, Schraffuren, Layer-Aufteilung u.a. an den jeweiligen Bauaufnahmezweck anzupassen und unter Beteiligung der entsprechenden Fachdisziplin in intensiver Diskussion zu entwerfen. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Einsatz der CAD-gestützten Bauaufnahme nicht an dem aus Nutzersicht unzulänglichem Planlayout scheitert [IOANNIDIS et al., 1997][32].

Durch die topologische Struktur der CAD-Daten existieren die geometrischen Elemente nicht nur als grafische Repräsentanten der erfassten Geometrie, sondern sie können als eigenständige Objekte definiert werden, die mit ergänzenden thematischen Informationen verbunden werden können. Ein Objekt darf zwar in seiner Größe und Position verändert werden, es kann beschnitten und erweitert werden, es bleibt jedoch immer ein für sich definiertes Objekt mit den dazugehörenden Eigenschaften. In konventionellen Plänen werden alle Informationen über eine grafische Gestaltung vermittelt, die entweder als reines Bildmodell für sich selbst spricht oder aber über eine erläuternde Legende bzw. mit zusätzlichen Kommentaren zu verstehen ist. Bei einer objektorientierten Arbeitsweise lassen sich dagegen Informationen mit dem Objekt verbinden, die außerhalb des eigentlichen Plans strukturiert und gespeichert sind[33]. Damit sind die vielfältigen Attribute des Originalbauwerks den Geometriedaten direkt zuzuordnen, wodurch das CAD-Modell in Ergänzung seiner geometrischen Bedeutung als Ordnungssystem fungiert, über das alle zusätzlichen Informationen abgerufen werden können.

---

31 vgl. Kap. 3.5, 'Anwendung in der historischen Bauforschung'

32 vgl. Kap. 6.2, 'Praktische Umsetzung einer methodenkombinierenden Bauaufnahmestrategie'

33 Zur Datenstrukturierung und -verwaltung innerhalb einer Datenbank vgl. Kap. 4.3.4, 'Datenstrukturierung und Präsentation in Geographischen Informationssystemen (GIS)'.

In den gängigen CAD-Systemen besteht die Möglichkeit, mit den Objekten Elemente einer Datenbank zu verbinden, in der sowohl ergänzender Text wie auch Detailpläne oder zusätzliche Fotos verwaltet werden können. Über einen Verweis vom Objekt auf die Datenbank können die Informationen jederzeit abgerufen, verändert und ergänzt werden. Für die Bauaufnahme bietet sich eine objektorientierte Arbeitsweise mit Datenbankanbindung an, wenn z.B. unter Einsatz eines Raumbuches sehr viele über die Geometrie hinausgehende Bauwerksattribute zu erfassen sind. Die Kombination von CAD-Datei und Datenbank stellt dann ein Informationsmedium dar, das auch als digitales Raumbuch bezeichnet werden kann. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber einem konventionellen Raumbuch ist darin zu sehen, dass durch die digitale Datenrepräsentation eine schnelle und einfache Verfügbarkeit aller Informationen innerhalb eines konsistenten Datenmodells sichergestellt werden kann. Die Verknüpfung von Objekt und Information innerhalb eines CAD-Systems unterscheidet sich in der prinzipiellen Methodik kaum vom klassischen Raumbuch. Bei beiden wird über eine klar definierte Schnittstelle die Verbindung zu den ergänzenden Informationen hergestellt. Die digitale Datenspeicherung innerhalb eines CAD-Systems ermöglicht aber eine sehr viel effektivere Verwaltung der Daten. Weiterhin bleibt die Verbindung zwischen Objekt und den mit diesem verbundenen Informationen auch dann erhalten, wenn das Objekt in seiner Position oder Gestalt verändert wird. Dies ist besonders dann nützlich, wenn bei Sanierungsmaßnahmen die Planung innerhalb eines digitalen Datenflusses unter Verwendung von CAD-Systemen erfolgen soll. Dann kann der planende Architekt jederzeit auf die bei der Bauaufnahme erhobenen Daten zurückgreifen.

Die Realisierung der Datenverbindung zwischen CAD-Objekten und den verknüpften Informationen kann auf vielfältige Art und Weise vorgenommen werden, wobei unterschiedliche Strategien für zweidimensionale bzw. dreidimensionale CAD-Modelle anzuwenden sind.

Bei zweidimensionalen CAD-Dateien kann eine Verbindung hergestellt werden, bei der die CAD-Elemente direkt mit den Elementen der Datenbank verbunden werden. Entsprechende Schnittstellendefinitionen werden standardisiert in den CAD-Programmen angeboten (z.B. AutoCAD 2000 und AutoCAD Map [AUTODESK, 2001])[34]. Über derartige Schnittstellen lässt sich der Verweis von den Grafikelementen auf die Datenbank zuverlässig herstellen, jedoch ist der umgekehrte Weg meist nur eingeschränkt zu nutzen. Hier besteht oft nur die Möglichkeit, Abfragen in der Datenbank durch eine farbige Markierung der entsprechenden Elemente in der CAD-Zeichnung zu visualisieren. Sind beispielsweise in einer Datenbank alle Fenster in ihrer Größe erfasst und mit den grafischen Objekten in der CAD-Zeichnung verbunden, so kann eine Datenbankabfrage, die alle Fenster kleiner als 60 cm Breite auswählen soll, in der CAD-Zeichnung visualisiert werden. In der zweidimensionalen Darstellung lassen sich alle Fenster kleiner 60 cm farbig markieren und so auf einen Blick erfassen. Diese Form der Analyse ist jedoch bei klassischen CAD-Programmen nur sehr beschränkt nutzbar, für weitergehende Analysen des Datenbestandes sind daher vollständig ausgebaute Geographische Informationssysteme einzusetzen[35].

Neben den oben skizzierten Anwendung als digitales Raumbuch sind im Bereich Denkmalpflege und Archäologie verschiedenste Beispiele zum Einsatz von CAD-Programmen als Informationssystem anzutreffen [z.B. CAMARA, LATORRE, 1997; GRUSSENMEYER et al., 1999b; HEINE, 1999; WHITING, NICKERSON, 1997]. Hier wird für die Kombination von CAD-Programmen mit Datenbanken zu einem Informationssystem der sonst im GIS-Bereich anzutreffende Ausdruck Monument Informationsystem (MIS) verwendet.

Wird dagegen durch die Bauaufnahme ein dreidimensionales Volumenmodell aufgebaut, das durch eine Animation visualisiert werden soll, ist der direkte Verweis auf die grafischen Elemente der CAD-Datei nicht sinnvoll. Dies gilt besonders deshalb, weil das 3D-Modell erst nach seiner Visualisierung in Form eines gerenderten 3D-Modells oder einer anderen animierten Darstellung effektiv einzusetzen ist und bei dieser Art der Darstellung nur schwer ein Gesamteindruck aller Geometrieelemente zu erhalten ist. Auf die Verknüpfung von animierten CAD-Modellen mit ergänzenden Sachinformationen wird im folgenden Kapitel eingegangen.

[34] Die Erweiterung von CAD-Programmen mit GIS-Komponenten wird auch als CAD-GIS-Systeme bezeichnet.

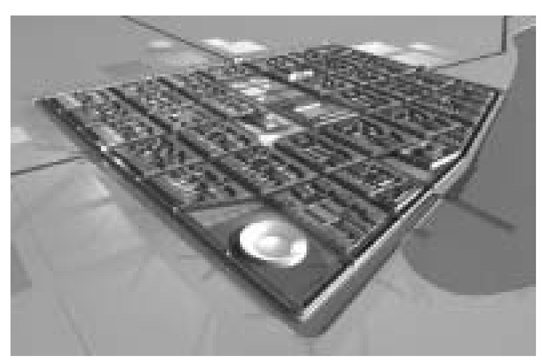
[35] vgl. Kap. 4.3.4, 'Datenstrukturierung und Präsentation in Geographischen Informationssystemen (GIS)'

4.3.3 3D-Visualisierungen und Animationen

Dreidimensionale Modelle werden überwiegend zur anschaulichen Präsentation der Bauaufnahmeergebnisse verwendet. Die klassische Form der Darstellung durch Grundrisse, Ansichten, Schnitte und Perspektiven genügt nicht immer für die Beurteilung der dreidimensionalen Situation, insbesondere für den fachfremden Nutzer können die zweidimensionalen Pläne schwer zu verstehen sein. Deshalb ist es vielfach notwendig, zweidimensionale Pläne um dreidimensionale Darstellungen zu ergänzen. In der Vergangenheit erfüllten diesen Zweck die gebauten dreidimensionalen Modelle aus Holz oder anderen Materialien, heute werden zunehmend 3D-Computermodelle eingesetzt, wobei sowohl die gebauten wie auch die 3D-Computer-Modelle in Abhängigkeit der geforderten Qualität mit entsprechend hohem zeitlichen Aufwand herzustellen sind.




a) Roma antiqua, gebautes 3D-Modell [GISMONDI, 1934]



b) Colonia Ulpia Traiana, 3D-Visualisierung [RANK, 1995]

Abb. 4.20: Rekonstruktion durch 3D-Modelle

Nach ihrer Fertigstellung können jedoch die Computermodelle sehr viel flexibler eingesetzt werden, weil es sehr leicht möglich ist, Veränderungen am 3D-Computermodell vorzunehmen. Mit dem einmal erstellten Modell können beliebige Schnitte, Ansichten und Perspektiven berechnet werden, es lassen sich jederzeit Ergänzungen oder Korrekturen am 3D-Modell vornehmen, die sofort und ohne großen Aufwand in die abgeleiteten Präsentationen einfließen können. Neben der Betrachtung von außen ist auch eine Begehung der Innenräume möglich, sodass von allen Bereichen des Modells Raumeindrücke und Sichtbeziehungen – auch in die nähere und weitere Umgebung – zu vermitteln sind. Die Präsentation kann in Form von einzelnen Bildern, filmischen Animationen oder virtuellen 3D-Modellen, die interaktiv benutzt werden können, erfolgen.

4.3.3.1 Methoden der 3D-Visualisierungen und Animationen

Für die technische Realisierung von 3D-Modellen und Visualisierungen lassen sich die verschiedenen Konzepte unter Verwendung der unterschiedlichsten Programmsysteme einsetzen. Ein kompletter Überblick dieser sich ständig weiterentwickelnden Visualisierungstechniken kann im Folgenden nicht gegeben werden. Vielmehr sollen die wichtigen methodischen Arbeitsschritte zum Aufbau von 3D-Modellen, Animationen und 3D-Informationssystemen vermittelt werden, um hiermit eine Entscheidungsgrundlage zur individuellen Wahl von 3D-Darstellungsarten als Präsentationsmedium und Informationssystem für die Bauaufnahme bereitstellen zu können.

Ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Nutzens von 3D-Modellen für die Bauaufnahme stellt die Qualität des Modells in geometrischer und inhaltlicher Hinsicht dar. Die verschiedenen Arten der Visualisierungen von räumlichen Objekten lassen sich dabei in drei prinzipielle Klassen einteilen:

- bildbasierte Verfahren ohne explizite 3D-Modellierung
- Kombination von einfachen 3D-Modellen mit Bilddaten
- 3D-Modelle hoher Detailtiefe und Realitätsnähe

Auf der geometrisch niedrigsten Stufe stehen alle ausschließlich auf Bilddaten basierenden Animationen[36] wie z.B. GIF-Sequenzen [GIF, 2001] oder Panoramen [IMAGEFACT, 2001]. Die in fester Reihenfolge abgespielten Bildsequenzen eines virtuellen 3D-Modells stellen im eigentlichen Sinn kein dreidimensionales Modell dar, sind aber dennoch geeignet, dem Betrachter einen Raumeindruck zu vermitteln. Sie werden vorzugsweise dann eingesetzt, wenn einfache Animationen geringen Speicherbedarfs zur Visualisierung genügen. Für die Panoramen wird aus den Bilddaten ein 360° Szenario berechnet, das meist in die so genannten Movie-Formate konvertiert und als filmische Animation präsentiert wird [BILL, 1999b]. In diesen Filmsequenzen kann sich der Betrachter über den gesamten Horizont bewegen, er kann die Zoomfunktion zum Vergrößern von Bilddetails einsetzen und über eventuell vorhandene Schnittstellen (Hyperlinks) mit anderen Informationen verbunden werden. Da hier nur Bilder verwendet werden, ist keine explizite Geometriebeschreibung der einzelnen Objekte vorhanden, sodass zu den sichtbaren Objekten (z.B. Tür, Fenster, Treppe, Raum, etc.) kein direkter Bezug hergestellt werden kann. Das Begehen der Szene oder Betrachten von außen ist nicht möglich, es können jedoch über die Hyperlinks neue Panoramen (z.B. von Nachbarräumen) erschlossen werden. Zur Berechnung der Panoramen stehen verschiedene Programmsysteme wie Quick Time Virtual Reality [QUICKTIME, 2001] oder Live Picture Object Modeler [MGISOFT, 2001] zur Verfügung, deren Ergebnisse innerhalb eines Internet-Browsers betrachtet und benutzt werden können.

Mit einer weniger aufwändigen dreidimensionalen Modellierung des Objektes kommen alle Verfahren aus, bei denen die animierte 3D-Darstellung aus dreidimensionalen CAD-Objekten in Kombination mit Bilddaten der tatsächlichen Oberfläche besteht. Hierbei wird in einem CAD-System ein 3D-Modell konstruiert, das nur die wesentlichen Geometrieelemente des Objektes aufweist. Diese Objekte werden als dreidimensionale Volumenkörper modelliert, auf die im Anschluss die Bilder der Oberflächen montiert werden. Dabei muss für alle nicht modellierten Objektdetails die bildhafte Information die geometrische Beschreibung ersetzen. Beispielsweise wird in einem derartigen 3D-Modell nicht jedes Fassadendetail mit seiner Geometrie als Volumenkörper modelliert, die Informationen über die Gestalt der Fassade muss visuell den Bildern entnommen werden. Damit hierbei eine größere geometrische Genauigkeit erzielt werden kann, sollten entzerrte Messbilder verwendet werden [HEMMLEB et al., 2001]. Wesentlicher Vorteil dieser Modellierungsstrategie ist die einfache – und kostengünstige – Ausführung bei voller Dreidimensionalität des Gesamtmodells. Nach der Konstruktion (z.B. innerhalb eines CAD-Systems) und der virtuellen Animation (z.B. als VRML-Modell) kann das 3D-Modell in allen seinen Teilen begangen werden, wobei im Vergleich zu den Panoramen ein besserer räumlicher Eindruck zu vermitteln ist. Für weitergehende wissenschaftliche Untersuchungen sind diese 3D-Modelle nur bedingt geeignet, vor allem weil nicht alle im Modell sichtbaren Informationen als 3D-Objekte modelliert sind. Dieser Nachteil lässt sich leicht nachvollziehen, wird die Generierung von Schnitten aus einem derartigen 3D-Modell betrachtet. Soll z.B. ein Schnitt durch die Tür einer Fassade verlaufen, die im Modell nur durch die bildhafte Information repräsentiert wird, so weist der automatisch erzeugte Schnitt an dieser Stelle eine undurchbrochene Wand auf.

Die aufwändigste, aber aus geometrischen Aspekten genaueste Methode ist die vollständige dreidimensionale Modellierung aller Objekte in einem CAD-System. In Abhängigkeit des gewählten Arbeitsmaßstabes wird dabei jedes Detail für sich genommen als dreidimensionales Volumenobjekt modelliert. Soweit notwendig können die Oberflächen ergänzend mit Bilddaten belegt werden, um eine realitätsnähere Visualisierung herzustellen.

Durch die umfassende dreidimensionale Modellierung kann das 3D-Modell nicht nur zur Visualisierung der Raumsituation verwendet werden, sondern ist auch zur Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen wie z.B. Rekonstruktionsüberlegungen einzusetzen. Von dem einmal erstellten 3D-Modell lassen sich beliebige Ansichten, Schnitte, Perspektiven und Animationen erzeugen, die zur weiteren Untersuchung von geometrischen Zusammenhängen ebenso wie als Informationsraum hoher Detailtiefe bereitgestellt werden können.

Während einer Bauaufnahme werden mit den unterschiedlichsten Methoden geometrische Beschreibungen des Objektes erzeugt. Um aus diesen geometrischen 'Rohdaten' 3D-Modelle oder animierte Darstel-

[36] Hierzu sind auch die stereoskopische Bilder zu rechnen, die ebenfalls einen guten 3D-Raumeindruck vermitteln können und auch über das Internet zu verbreiten sind; vgl. Kap. 5.3.3.2, 'Stereoskopische Auswertung'.

lungen ableiten zu können, ist je nach Verwendungszweck der Einsatz unterschiedlicher Softwareprogramme möglich.



a) Innenhof [CALMBACH, 2001]



b) Konferenzraum [BERTHEAU, 2001]

Abb. 4.21: Beispiele für realitätsnahe Visualisierungen

Als Basismodul zum Aufbau eines 3D-Volumenmodells sollte eines der gängigen CAD-Programme wie AutoCAD [AUTODESK, 2001] oder MicroStation [BENTLEY, 2001] benutzt werden. Die in den CAD-Programmen bereitgestellten Konstruktionshilfsmittel lassen sich sehr effektiv einsetzen, um aus den während der Bauaufnahme erfassten Punkten, Linien, Flächen und Körpern ein konsistentes 3D-Geometriemodell (Volumenmodell) zu erzeugen. Innerhalb der CAD-Programme können von dem 3D-Modell weiterhin Ansichten, Schnitte und Perspektiven berechnet werden. Es können Oberflächen mit Materialien oder externen Bilddaten versehen werden und durch das so genannte Rendering unter Berücksichtigung von Beleuchtung und Betrachtungsstandort realitätsnahe Darstellungen des Objekts erzeugt werden. Die dabei zur Verfügung stehenden Möglichkeiten einer animierten Darstellung sind in den meisten CAD-Programmen nicht sehr gut ausgeprägt, sodass für viele Nutzungen eine weitergehende Bearbeitung des 3D-Rohmodells in komfortableren Programmen vorgenommen werden muss.

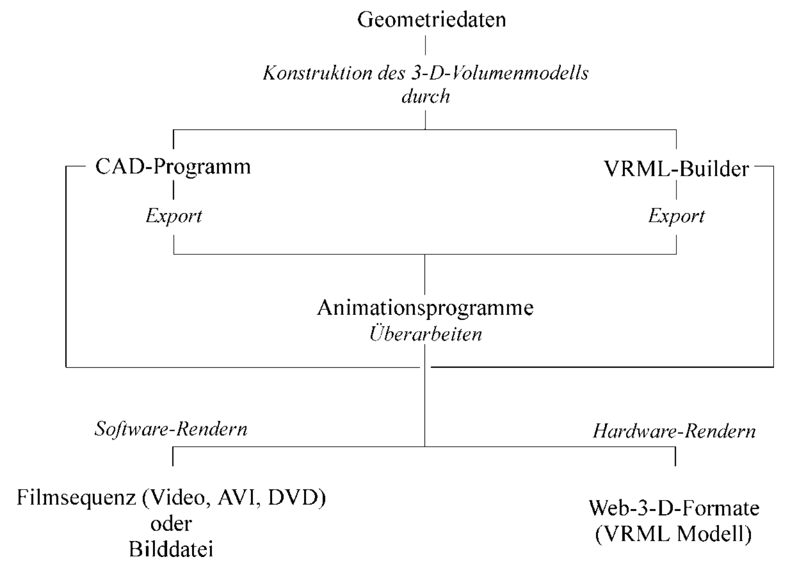


Abb. 4.22: Prinzipieller Arbeitsablauf zur Erstellung von 3D-Modellen und Animationen

Für diesen nächsten Arbeitsschritt kann eine Vielzahl von Animationsprogrammen verwendet werden wie z.B. 3D-Studio Max [DISCREET, 2001], Maya [MAYA, 2001], Softimage [SOFTIMAGE, 2001] oder Cinema 4D [C4D, 2001]. Unter Einsatz der in diesen Programmen zur Verfügung stehenden Animationswerkzeuge wird aus den importierten CAD-Roh-Daten eine Optimierung des 3D-Modells vorgenommen, bevor die Szenen

innerhalb der Software gerendert und für eine Animation z.B. in Form einer virtuellen Kamerafahrt zusammengestellt werden. Bei entsprechendem Aufwand lassen sich hiermit sehr realitätsnahe Filmsequenzen erzeugen, die in den verschiedenen Filmformaten ausgegeben werden können. An erster Stelle sind die so genannten AVI-, MPEG- und QuickTime-Formate zu nennen, deren Datenrate vom Komprimierungsverfahren und der Qualitätsstufe abhängt. Bei hoher Komprimierung und geringer Auflösung entsteht eine geringe Datenmenge, die gut für eine Präsentation im Internet oder auf CD geeignet ist. Qualitativ hochwertige Filmsequenzen sind dagegen für die Medien Videofilm oder Digital Versatile Disk (DVD) zu konvertieren [vgl. RIEGER, 2001].

Die filmischen Animationen enthalten feste, vordefinierte Ansichten des Objektes, in die der Betrachter generell nicht interaktiv eingreifen kann. Soll eine benutzerdefinierte Handhabung des 3D-Modells möglich sein, muss aus den Animationsprogrammen heraus eine Ausgabe des 3D-Modells in ein Web-3D-Format – wie z.B. die Virtual Reality Modeling Language (VRML) – vorgenommen werden[37]. VRML ist eine der Kerntechnologien des World Wide Web (WWW), durch die auf der Grundlage eines textbasierten Dateiformates einzelne 3D-Objekte ebenso wie komplette '3D-Welten' modelliert werden können und interaktiv zu bedienen sind [BILL, 1999b]. Zur Benutzung der VRML-Modelle sind die so genannten Viewer [z.B. BLAXXUN , 2001; COSMOPLAYER, 2001; GLVIEW, 2001; VRML 2.0 VIEWER, 2001] notwendig, die entweder als eigenständiges Programm betrieben werden können oder innerhalb eines Internet-Browsers (z.B. Internet Explorer oder Netscape) als entsprechendes Zusatzmodul integriert werden. Mit Hilfe dieser Viewer wird die Bedienung des VRML-Modell ermöglicht, d.h. das Modell kann von außen und innen betrachtet werden, es lässt sich verändern wie ergänzen, und es bestehen weitere, vielfältige dynamische Interaktionsmöglichkeiten.

Neben der realitätsnahen Visualisierung[38] wird besonders durch die Interaktionsmöglichkeiten innerhalb von VRML-Modellen ein hohes Nutzungspotenzial für die Bauaufnahme bereitgestellt. Wie bei den im Zusammenhang der Panoramen erwähnten Quick Time VR-Modelle lassen sich mit den VRML-Modellen ebenfalls vielfältigste Informationen verbinden. Das VRML-Modell ist Informationsraum und Benutzerschnittstelle, in dem über sensitive Flächen oder andere Knotenpunkte ergänzende Informationen in Form von multimedialen Dokumenten erschlossen werden können. Hierbei kann es sich um weitere 3D-VRML-Modelle, animierte Filme, Bilder, CAD-Dateien, Texte o.a. handeln [vgl. CAREY, BELL, 2001; DORFFNER, 1999; IKGIS, 2001; WEB3D, 2001]. Das VRML-Modell übernimmt die Funktion eines 3D-Inventarisierungssystems – z.B. als 3D-Raumbuch –, bei dem die Zuordnung der Informationen zu den jeweiligen Objekten über das dreidimensionale Modell erfolgt. Während der Begehung des VRML-Modells wird dem Nutzer über die gut sichtbar anzuordnenden sensitiven Flächen oder andere Interaktionspunkte signalisiert, dass weitere Informationen über diesen Teil des Objektes vorhanden sind. Damit kann auf die ergänzenden Daten durch die intuitive Benutzung des 3D-Modells einfach und schnell zugegriffen werden. Ein kompliziertes Ordnungssystem – wie bei einem konventionellen Raumbuch notwendig – entfällt, alle Informationen sind durch den direkten Raumbezug innerhalb eines Arbeitsmittels zu erschließen. Nur durch eine derartige einfache Zuordnung der Daten zu den räumlichen Strukturen können beliebig große Datenmengen dem Nutzer erschlossen werden. Das vorherrschende Problem der Schnittstellendefinition zwischen verschiedenen Datenwelten sowie zwischen den Datenmodellen und dem Nutzer kann durch diese raumbezogene Strukturierung einfach gelöst werden, indem die Datenstrukturen mit den entsprechenden physischen Strukturen der Gebäude assoziiert werden[39].

Da alle Informationen digital vorliegen, steht neben der Datenverknüpfung vom 3D-Modell zum Datenbestand auch der umgekehrte Weg vom Datenbestand zum 3D-Modell zur Verfügung. Sind die Informationen innerhalb einer Datenbank organisiert, lässt sich das VRML-Modell zur Visualisierung von Analysen einsetzen. Im Gegensatz zu der weit entwickelten Methodik der zweidimensionalen Visualisierung innerhalb von Geo-Informationssystemen[40] ist diese prinzipielle Möglichkeit für dreidimensionale

[37] Ein VRML-Export ist auch aus den meisten CAD-Programmen möglich. Zum Aufbau einfacher VRML-Szenen können auch die speziellen so genannten VRML-Builder Programme eingesetzt werden.

[38] Generell wird die realitätsnahe Visualisierung mit VRML nur in geringer Auflösung vorgenommen, um geringe Übertragungszeiten aus dem WWW realisieren zu können.

[39] Diese Form der Repräsentanz von Daten durch physische Gebäudestrukturen wird auch als Gebäudemetapher bezeichnet [HOVESTADT, 1998].

[40] vgl. Kap. 4.3.4, 'Datenstrukturierung und Präsentation in Geographischen Informationssystemen (GIS)'.

Modelle noch nicht sehr weit entwickelt. Ein generelles Problem von 3D-Modellen besteht darin, den Überblick während der Begehung zu behalten[41] [LANDES, 1999]. Wird die Abfrage an die Datenbank aus einem Raum des Modells heraus gestartet, dann ist es beinahe unmöglich, das Ergebnis der Analyse für das gesamte Modell im Überblick zu erfassen. Hier reicht es nicht aus, z.B. alle Räume kleiner 10 m² rot zu markieren, da nicht alle Markierungen vom Standpunkt des Betrachters zu sehen sind. Eine Lösungsmöglichkeit für dieses Problem besteht in einer kompletten Neuberechnung des 3D-Modells [ZLATANOVA, GRUBER, 1998; ZLATANOVA, TEMPFLI, 2000] oder aber in der Auswahl von Objektteilen nach bestimmten Kriterien [LANDES, 1999]. Damit sind zwar alle Räume kleiner 10 m² visualisiert, doch geht der Bezug zu allen anderen Objektteilen verloren. Vielfach wird für derartige Analysen auch eine zweidimensionale Darstellung gewählt [LANDES, 1999]. Abfragen an die Datenbank können ebenfalls in einer neuen HTML-Seite des Internet-Browsers generiert werden, bei der die gesuchten Informationen aus der Datenbank ausgelesen und damit die neue HTML-Seite gefüllt wird [DORFFNER, 1999; LANDES, 1999; CART, 2001]. Damit ist gewährleistet, dass die Ergebnisse der Analysen nicht nur am geometrischen 3D-Modell visualisiert werden, sondern ergänzend als ausführlicher Textbericht oder ergänzende Grafik zur Verfügung stehen.

4.3.3.2 Anwendungspotenziale der 3D-Visualisierungen und Animationen

Dreidimensionale Visualisierungen werden zur animierten Darstellung von der kleinen Bauplastik bis hin zu großen denkmalgeschützten Ensembles immer häufiger genutzt. Im Vordergrund steht dabei die anschauliche Präsentation durch die sowohl bestehende wie auch nicht mehr vorhandene Objekte einem breiten Fach- und Laienpublikum nähergebracht werden sollen. Zur Anwendung kommen fast alle Verfahren – von der bildbasierten Animation mit Quicktime VR [z.B. AYUTTHAYA, 2001; OGLEBY, 1997] über gerenderte CAD-Modelle [z.B. CART, 2001] und VRML-Modelle [z.B. TAJ MAHAL, 2001] bis zur aufwändigen filmischen Animation, die zu vollständigen Videofilmproduktionen ausgebaut werden [FRAUENKIRCHE, 1995]. Alle diese Visualisierungen stehen am Ende des Bearbeitungsprozesses, wobei sie neben der Wissensvermittlung auch immer häufiger als Werbemedium dienen.

Gleichzeitig können 3D-Visualisierungen aber auch als Arbeitsmittel zur Untersuchung historischer Bausubstanz verwendet werden. Dafür müssen die dreidimensionalen Darstellungen je nach Forschungsgebiet und Aufgabenstellung sehr differenzierte Anforderungen erfüllen. Für die verschiedenen Fachgebiete werden im Folgenden mögliche Nutzungspotenziale aufgezeigt.

Auf dem Gebiet der Bauforschung werden zur Untersuchung zerstörter Bauwerke [z.B. ITO et al., 2000; ROHN, 2001], zur Analyse früherer Bauwerksphasen oder zum Studium von Bauabläufen [z.B. HOF, 2001] vermehrt virtuelle Rekonstruktionen erstellt. Um hierbei die räumliche Situation beurteilen zu können, bietet die 3D-Modellierung innerhalb der CAD-Programme wesentliche Vorteile gegenüber der zeichnerischen oder gebauten Rekonstruktion. Sind alle noch vorhandenen Bauteile als 3D-Objekte modelliert, lassen sich beliebig viele Varianten des rekonstruierten Bauwerks ausprobieren. Im Vergleich zur gezeichneten oder gebauten Rekonstruktion besteht die Möglichkeit, vielfältigste Rekonstruktionsüberlegungen tatsächlich am 3D-Modell zu analysieren. Jedes einzelne Bauteil kann sehr einfach in seiner Position und Ausrichtung verändert werden, Widersprüche und Fehler werden bei einer dreidimensionalen Rekonstruktion leichter als im Verlauf einer zeichnerischen Wiederherstellung erkannt [HOF, 2001; ROHN, 2001]. Darüber hinaus ermöglichen die verschiedenen Konstruktionshilfen des CAD-Systems (z.B. Kopierfunktion, Prototyp-Clone-Methode) ein effektives und wirtschaftliches Arbeiten.

Doch birgt eine komplette 3D-Modellierung auch Nachteile und Schwierigkeiten, die vor allem während der Bauaufnahme und der Benutzung der Ergebnisse zu berücksichtigen sind. Im Vergleich zur zweidimensionalen Darstellung erfordert die Modellierung und Darstellung als 3D-Modell während der Erfassung eine andere Arbeitsweise, die mit einem wesentlich höheren Aufwand verbunden ist. Für eine konsequente dreidimensionale Modellierung muss ein lückenloses, konsistentes 3D-Modell erfasst werden, wodurch die Anforderungen an die Vollständigkeit, geometrische Genauigkeit und an das 3D-Verständnis der Ausführenden besonders hoch sind. Gegenüber einer konventionellen Erfassung in Schnitten oder Ansichten ist als wesentlicher Unterschied festzustellen, dass jede dreidimensionale Erfassung sich direkt auf die benachbarten Elemente auswirkt. Diese Wechselwirkung ist für Rekonstruktions-

[41] Vordefinierte Begehungen oder fest eingestellte Betrachtungspunkte, zu denen immer wieder zurückgekehrt werden kann, erleichtern die Navigation im 3D-Modell.

untersuchungen sinnvoll zu nutzen, da Widersprüche unmittelbar auftreten und so neue Erkenntnisse abzuleiten sind. Gleichzeitig ist aber bereits während der Erfassung ein größeres Verständnis für die bautechnischen Zusammenhänge notwendig, um eine sinnvolle Modellierung gewährleisten zu können. Eine Beschränkung der inhaltlichen Auseinandersetzung auf klar abgegrenzte Teilbereiche, wie dies bei der Erfassung in Form von repräsentativen Schnitten erfolgt, ist nicht möglich.

Vor der Bauaufnahme sind die Anforderungen an das 3D-Modell genau festzulegen, wobei das 3D-Modell für den jeweiligen Zweck so ausgearbeitet werden muss, dass dieses Modell für den Nutzer leicht zu verstehen und zu handhaben ist. Dabei ist die Wahl des Arbeitsmaßstabes, durch den die geometrische Qualität festgelegt wird, ebenso wichtig wie Entscheidungen über die grafische Ausarbeitung des 3D-Modells, die von einem einfachen schematischen Modell bis zur realitätsnahen Visualisierung reichen kann. Für einige Anwendungen ist es sinnvoller, den künstlichen Charakter einer schematischen Modellierung beizubehalten, als eine realitätsnahe Visualisierung mit Oberflächenmaterialien, Texturen oder fotografischen Oberflächen herzustellen [vgl. z.B. HOF, 2001]. Neben dem zu leistenden Aufwand während der Erfassung und Erstellung sollte auch die Wirkung des Modells auf den Betrachter während der Benutzung berücksichtigt werden. Je mehr das Modell ausgearbeitet ist, desto größer ist die Gefahr, die präsentierte Information unkritisch aufzunehmen und zu vergessen, dass es sich bei der Animation um ein individuelles, subjektiv hergestelltes Modell und nicht um das Original selbst handelt. Auch die aufwändigsten Computeranimationen sollten nach den Fragestellungen der 'Allgemeinen Modelltheorie' bewertet werden[42], um sich über den Grad der Objektivität der dargebotenen Informationen klar zu werden.

In den Bereichen Restaurierung, Denkmalpflege und Bauforschung können aber auch 3D-Modelle eingesetzt werden, bei denen gerade eine möglichst realitätsnahe Visualisierung im Vordergrund steht, um z.B. die Wirkungen einer räumlichen Situation auf den Betrachter in Abhängigkeit der verwendeten Materialien, Farben usw. am virtuellen Modell erforschen zu können (Abb. 4.21). Hierbei kann die Visualisierung entscheidendes Hilfsmittel sein, um z.B. die Wiederherstellung von Bauwerken in einem nicht mehr vorhandenen historischen Zustand beurteilen zu können [HEMMLEB, SIEDLER, 2000].

Bei vielen Anwendungen von 3D-Modellen wird keine große Anforderung an die geometrische und inhaltliche Genauigkeit gestellt, weil der visuelle Eindruck im Vordergrund steht oder für die Anwendung nur eine geringe Genauigkeit notwendig ist. Hierfür sind typische Beispiele die 3D-Stadtmodelle, die sowohl als Präsentations-, und Informationsmedium von Stadträumen beispielsweise für touristische Zwecke [vgl. ALMER, NISCHELWITZER, 2000; HERBORN, 2001] als auch für Planungsaufgaben eingesetzt werden [vgl. DORFFNER, 1999; BRENNER, HAALA, 2000].

Die Nutzung von dreidimensionalen Modellen als Basis für ein Informationssystem im Bereich von Denkmalpflege, Bauforschung etc. erfolgt bis heute nur in wenigen, exemplarischen Anwendungen. In den häufiger eingesetzten konventionellen Informationssystemen werden die 3D-Geometriedaten in zweidimensionalen Repräsentationen geführt, um hiermit Sachinformationen verknüpfen zu können[43]. Der durch die zweidimensionale Abbildung verursachte Informationsverlust verringert die Qualität und Benutzerfreundlichkeit der Modellierung gerade von größeren, unübersichtlichen Gebäuden. In diesen Anwendungsgebieten lässt sich das 3D-Modell als Informationsraum auffassen, der interaktiv als Zugang zu den die Geometrie ergänzenden Sachinformationen benutzt werden kann [LANDES, 1999]. Dabei sollte die Datenverknüpfung nicht nur von der virtuellen Welt zu den Sachdaten in der Datenbank erfolgen, sondern gleichzeitig muss die umgekehrte Analysemöglichkeit bestehen. Erst wenn aus der Datenbank heraus Abfragen bearbeitet werden können, die sofort in der 3D-Visualisierung anzuzeigen sind, erfüllt das 3D-Modell seine Funktion als vollwertiges Informationssystem.

Ein derartiges 3D-Informationssystems könnte besonders im Rahmen von Inventarisierungen oder als digitales Raumbuch neue Möglichkeiten erschließen. Die in diesen Gebieten besonders zahlreichen und unterschiedlichen Informationen erfordern ein klar gegliedertes Ordnungssystem, das zudem leicht zu handhaben sein soll[44]. Zur strukturierten Datenverwaltung werden hierfür schon seit geraumer Zeit Datenbanken eingesetzt [z.B. SKALECKI, 1992; SCHERER-HALL, 1992], doch findet die Verknüpfung mit 3D-Geometrie-

[42] Sofern sich der Betrachter nicht nur an der 'Schönheit' des Modells erfreuen will.

[43] vgl. Kapitel 4.3.4, 'Datenstrukturierung und Präsentation in Geographischen Informationssystemen (GIS)'

[44] vgl. Kap. 3.2, 'Anwendung im Rahmen der denkmalpflegerischen Inventarisierung und des archäologischen Surveys' bzw. Kap. 3.4, 'Anwendung in der Denkmalpflege'

daten in der Regel nicht statt. Dabei bietet gerade die Informationsverwaltung in einem System eine hohe Datenkonsistenz und schnelle Verfügbarkeit. Zudem ist der Zugang zu den Daten über ein intuitiv erfahrbares 3D-Modell besonders leicht herzustellen. Nur so ist zu gewährleisten, dass alle über das Bauwerk vorhandenen Informationen auch tatsächlich zur Auswertung herangezogen werden. Ein 3D-Informationssystem scheint besonders geeignet zu sein, um alle Fragestellungen der Denkmaltopologie zu bearbeiten. Die hierbei auszuführende Betrachtung eines eher kleinräumigen Stadtbereiches, eines Quartiers oder einer Straßenszene erlaubt eine relativ hoch auflösende Modellierung bei vertretbarem Arbeitsaufwand.

Durch die Verfügbarkeit über das Internet kann z.B. eine '3D-Denkmalliste' darüber hinaus einen wesentlichen Beitrag zur Öffentlichkeitsarbeit leisten und das Bewusstsein für die Belange des Denkmalschutzes insgesamt fördern.

Erste Entwicklungen eines virtuellen 3D-Informationssystems sind z.B. auf dem Gebiet der 3D-Stadtmodelle [Zlatanova, Gruber, 1998], für ein Campus-Informationsmodell [Landes, 1999; CISKA 2001] und zur Einrichtung eines Informationssystems für die Denkmalpflege [z.B. Renuncio, Bähr, 2000] vorgenommen worden. Die Verbindung von CAD-Programmen mit Datenbanken zu einem Monument Informationsystem einzelner Bauwerke ist im vorausgegangenen Kapitel vorgestellt worden. Eine einfache Visualisierung mit bildbasierten Quick Time VR Szenen kann zwar dem breiten Publikum eine gute Präsentation über das Internet bereitstellen, doch sind hier die Informationsmöglichkeiten sehr beschränkt [vgl. Bitelli et al., 2000]. Gleiches gilt für Visualisierungen, die vorwiegend zur Präsentation von z.B. archäologischen Stätten angefertigt werden [z B. Ioannidis et al., 2000].

4.3.4 Datenstrukturierung und Präsentation in Geographischen Informationssystemen (GIS)

Die Verknüpfung von geometrischen Daten mit Sachinformationen kann – wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert – sowohl mit 3D-CAD-Modellen als auch mit animierten Visualisierung z.B. durch VRML-Modelle realisiert werden. Innerhalb der CAD-Systeme stehen dabei die Komponenten zur Konstruktion und Visualisierung im Vordergrund, durch die das CAD-System in Kombination mit den ergänzenden Sachdaten zum umfassenden Planungswerkzeug wird [Bill,1999a]. Mit animierten VRML-Visualisierungen erfolgt der Zugang zu den ergänzenden Daten über ein anschauliches 3D-Modell.

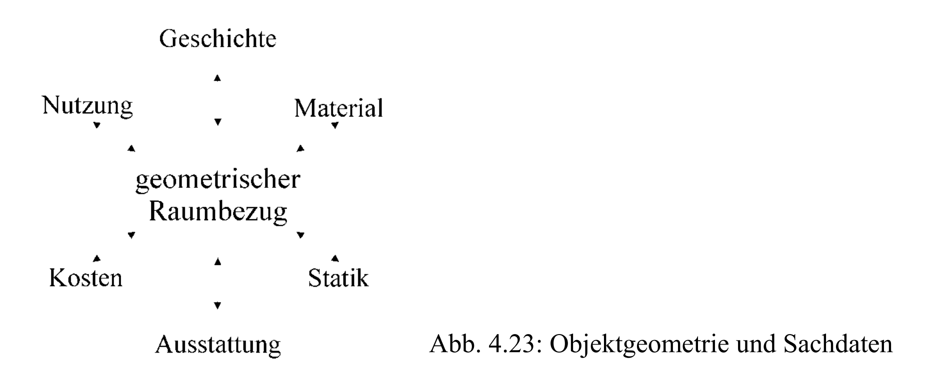


Abb. 4.23: Objektgeometrie und Sachdaten

Bei den Geographischen Informationssystemen dagegen wird die zentrale Stellung von den Sachdaten eingenommen, die erfasst, verarbeitet, verwaltet und analysiert werden müssen. Diese Daten werden über den geometrischen Raumbezug miteinander in Beziehung gesetzt (Abb. 4.23) und durch eine kartographische Darstellung visualisiert. Dabei ist die Präsentation notwendiges Hilfsmittel zur Darstellung der ausgeführten Datenanalysen und damit von untergeordneter Bedeutung gegenüber den Sachdaten. Geographische Informationssysteme sind vorwiegend als Analysewerkzeuge einzustufen [Bill, 1999a].

4.3.4.1 Grundlegende Prinzipien Geographischer Informationssysteme

Im Zentrum der Modellierung steht das in der Datenbank gespeicherte Objekt, das durch seine Geometrie, die Topologie zu den Nachbarelementen, die mit ihm verbundenen thematischen Daten sowie durch seine Beziehungen zu anderen selbständigen Objekten charakterisiert wird (Abb. 4.24).

Diese objektbezogenen Arbeitsweise bedeutet, dass die Datenerfassung für Geographische Informationssysteme nicht grafisch orientiert in Form von Punkten, Linien oder Flächen erfolgen darf, sondern dass während der Modellierung selbständige Objekte gebildet werden müssen[45], mit denen die weiteren inhaltlichen Sachdaten verbunden werden können. Sofern möglich sollte auch die inhaltliche Modellierung der ergänzenden Sachinformationen bereits während der Erfassung erfolgen.

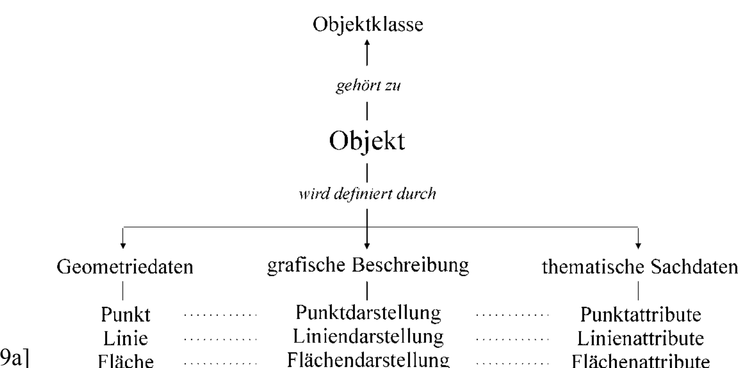


Abb. 4.24: GIS-Objekt [verändert nach: BILL, 1999a]

Mit dem Objekt können inhaltliche Attribute unterschiedlichster Form (Text, Zeichnungen, Pläne, Bilder, etc.) verbunden werden. Dabei beschränkt sich die Strukturierung im Datenmodell nicht auf die direkte Zuordnung im Sinne eines Wegweisers vom Objekt auf die Daten und umgekehrt von den Daten zum Objekt. Mit den erfassten Daten soll eine über die direkten Beziehungen hinausgehende Analyse durchzuführen sein. Um eine umfassende Auswertung der Sachdaten vornehmen zu können, müssen die thematischen Informationen durch einen so genannten Objektartenkatalog strukturiert werden[46] (Abb. 4.25).

Diese strukturelle Modellierung muss entsprechend den fachspezifischen Nutzungsanforderungen erfolgen, weil hierbei die wesentlichen Grundlagen für spätere Analysemöglichkeiten gelegt werden. Objektbeziehungen die innerhalb des strukturellen Datenmodells nicht vorgesehen sind, können auch später generell nicht analysiert werden. Demnach muss vorbereitend zu jeder Erfassung für ein Geographisches Informationssystem eine fachliche Einteilung der Objektarten einschließlich ihrer Attribute vorgenommen werden.

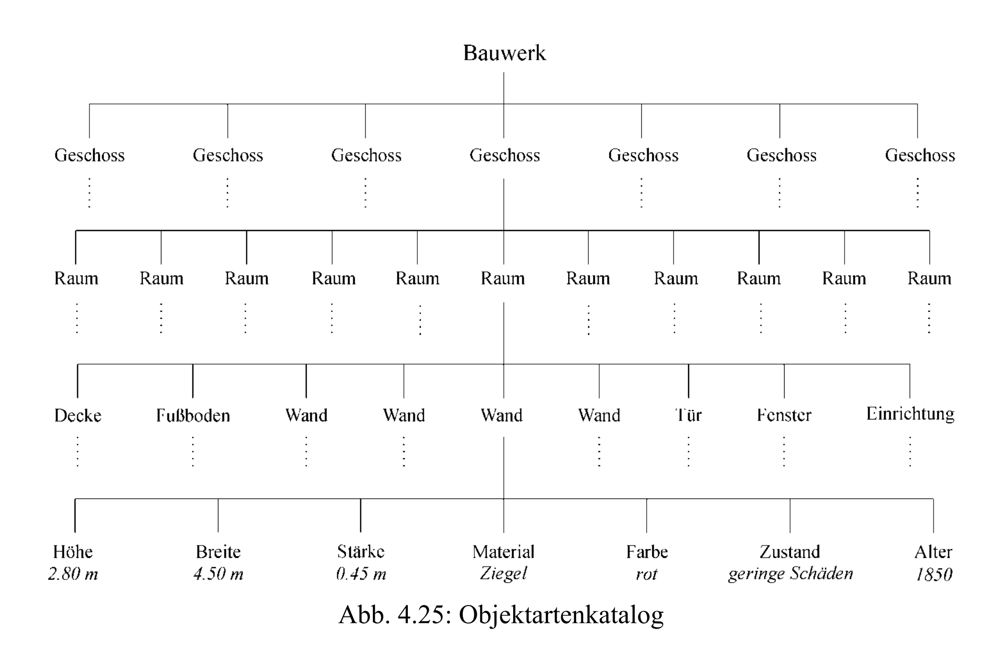


Abb. 4.25: Objektartenkatalog

45 Die Objektbildung von unstrukturierten Daten wie z.B. analogen Karten kann in einem zweiten Arbeitsschritt erfolgen, wobei z.T. unterstützende automatische Algorithmen eingesetzt werden können.

46 Eine ähnliche Strukturierung muss auch für die dreidimensionalen Datenmodelle (vgl. Kap. 4.3.3, '3D-Visualisierungen und Animationen') vorgenommen werden.

Die eigentliche Speicherung und Verwaltung der Daten erfolgt in einer separaten Datenbank. Auf diese Daten kann im Rahmen der Analysefunktionen jederzeit zurückgegriffen werden, wobei die Anwendungsprogramme zwar die Daten zur Analyse verwenden, dabei aber den Datenbestand nicht verändern. Durch die Abkopplung der Abfragefunktion vom eigentlichen Datenbestand ist eine hohe Datensicherheit herzustellen. Den einzelnen Nutzern können verschiedene Teilbereiche des Datenmaterials zur Auswertung überlassen werden, dabei wird auch oft von einer 'individuellen Sicht' des Nutzer auf das Datenmaterial gesprochen.

Durch die individuelle, der Fragestellung entsprechenden Datenauswertung ist es möglich, mit dem selben Datenmaterial während der Analyse ganz unterschiedliche Aussagen abzuleiten und diese mit anschließender Visualisierung als thematische Karte darzustellen. Es entsteht damit kein statischer Plan, der einmal erstellt nicht mehr verändert werden kann. Auch ist dies nicht mit dem Layerprinzip in CAD-Programmen zu vergleichen, da dort zwar verschiedene Elemente auf den unterschiedlichen Layern durch Ein- und Ausblenden visualisiert werden können, aber dieses nur auf der Basis einer festen Zuordnung zu den einzelnen Bearbeitungsebenen geschehen kann. Innerhalb der GIS-Analysen ist dagegen eine dynamische Veränderung der Planinhalte möglich. So lässt sich z.B. der Baubestand einer Stadt in der ersten Darstellung nach dem Baualter strukturieren, oder in einer weiteren Analyse können die baufälligen Gebäude präsentiert werden. Die Leistungsfähigkeit der GIS-Programme wird aber erst dann ausgeschöpft, wenn verknüpfte Analysen durch so genannte Verschneidungen ausgeführt werden. Dies wäre z.B. dann der Fall, wenn die Verteilung aller baufälligen Gebäude, die älter als 100 Jahre sind und unter Denkmalschutz stehen, über ein gesamtes Stadtgebiet visualisiert werden soll. Dieses kleine Beispiel kann verdeutlichen, dass die drei unterschiedlichen Datensätze – über das Baualter, über den Erhaltungszustand und über die Denkmaleigenschaft –, sofern sie in einer Datenbank gemeinsam verwaltet werden, durch die Analyse eine neue Information höherer Qualität bereitstellen können.

Aufgrund der breiten Verbreitung von GIS-Systemen für diverse Planungsaufgaben stehen sehr viele der kommerziellen GIS-Programme [z.B. ARCINFO, 2001; ARCVIEW, 2001; GEOMEDIA, 2001; MAPINFO, 2001; SMALLWORLD, 2001], aber auch individuelle Eigenentwicklungen [z.B. BROVELLI, MAURINO, 2000] für die Anwendung in Bauaufnahme, Denkmalpflege, Archäologie etc. zur Verfügung[47]. Innerhalb der GIS-Programme ist keine 3D-Modellierung möglich, alle Daten werden im so genannten 2,5-D-Modus verwaltet. Dabei werden zu den Grundrisskoordinaten ergänzend die Höhen gespeichert, sodass zwar dreidimensionale Daten vorliegen, diese aber nicht als 3D-Volumenmodelle visualisiert werden können[48].

4.3.4.2 Anwendungspotenziale Geographischer Informationssysteme

GIS-Systeme eignen sich besonders zur Strukturierung, Verwaltung, Analyse und Darstellung von Datensätzen, die eine Vielzahl unterschiedlichster Informationen beinhalten und überwiegend in einem zweidimensionalen räumlichen Bezug zueinander stehen. Hier sind an erster Stelle alle Inventarisierungsaufgaben im Bereich von Denkmalpflege und Archäologie zu nennen, besonders dann, wenn großräumige Fragestellungen untersucht werden sollen.

Um das Potenzial der GIS-Systeme hierbei wirklich nutzen zu können, ist gegenüber den konventionellen Visualisierungen in Form von analogen Plänen eine grundsätzlich andere Arbeitsweise zu entwickeln. Hierbei steht der Plan nicht mehr als abschließendes Resultat am Ende der Bauaufnahme (Abb. 4.26a), sondern ist Teil des gesamten Erkenntnisprozesses, in dessen Verlauf sich die Ergebnisse, wie auch das prinzipielle Vorgehen ändern können (Abb. 4.26b) [vgl. LAGERQVIST, 1996].

Von E. Hansen ist der Bauaufnahmeplan als Niederschrift der persönlichen Beobachtungen des Bauaufnehmenden bezeichnet worden [HANSEN, 2001] und stellt damit das Resultat der Untersuchungen dar. Für das Arbeiten mit GIS-Systemen darf mit Abschluss der Datenerfassung in keinem Fall das Ende des Bearbeitungsprozesses erreicht sein. Vielmehr beginnt zu diesem Zeitpunkt die eigentliche Arbeit, die darin besteht, aus dem Datenmaterial quantitative und qualitative Informationen abzuleiten. Dies ist nur

[47] Für die Anwendung in der Archäologie hat K. Gourad eine ausführliche GIS-Umfrage und Nutzungsanalyse durchgeführt [GOURAD, 1999]. Eine aktuelle, allgemeine Übersicht der auf dem Markt befindlichen GIS-Programme kann dem jährlich erscheinenden 'GIS-Report' entnommen werden [GIS-REPORT, 2001].

[48] Auf die Entwicklung von 3D-Informationssystemen ist im Kap. 4.3.3, '3D-Visualisierungen und Animationen' eingegangen worden.

möglich, indem Hypothesen formuliert werden, die wiederum in analysierende Abfragen zu konvertieren sind. Als Zwischenergebnis im Auswerteablauf entstehen durch die Analysen Visualisierungen, mit denen die Hypothesen zu überprüfen, anzunehmen, zu verwerfen oder zu verbessern sind.

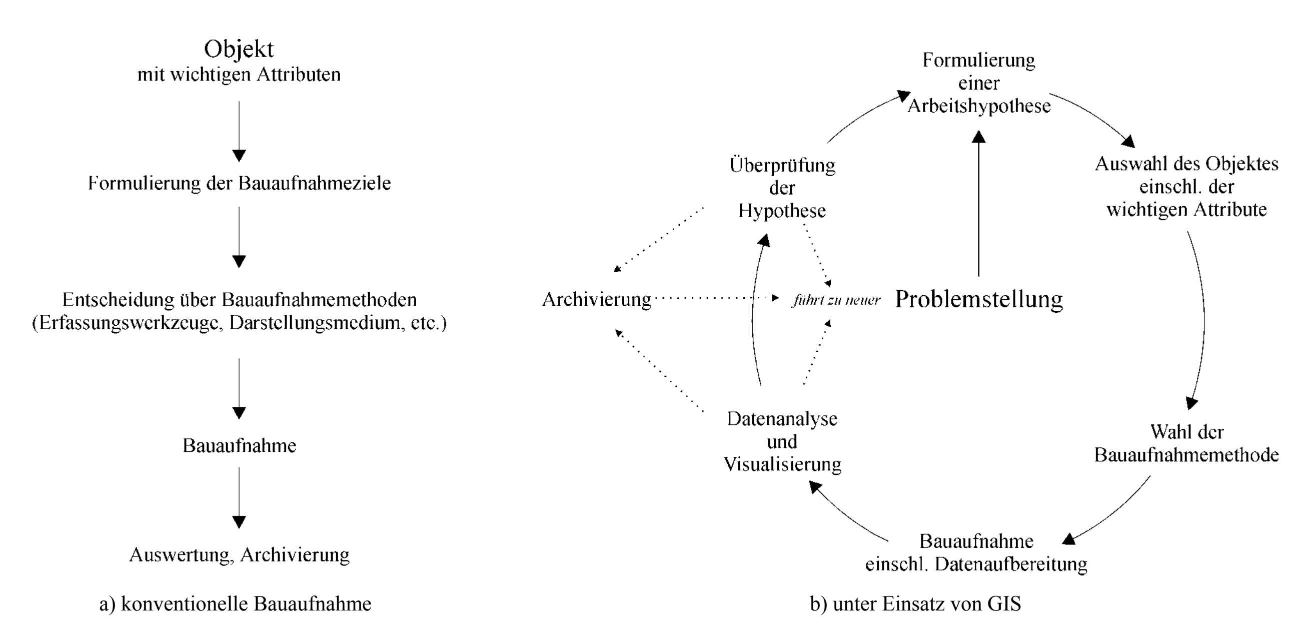


Abb. 4.26: Arbeitsablauf Bauaufnahme [verändert nach LAGERQVIST, 1996]

Es entsteht ein Auswertekreislauf vom Datenmaterial über die Hypothese, deren Analyse und Visualisierung zurück zum Datenmaterial. E. Hansen hat seine Untersuchungen an einem einzigen Stein eines Tempels ausgeführt. In Verlauf seiner Überlegungen während der Erfassung des Steins hat sich sicher ein dem Arbeitsablauf von GIS-Systemen ähnlicher Erkenntnisprozess abgespielt, bevor er das Ergebnis in Form eines Bauaufnahmeplanes niedergelegt hat[49]. Der wesentliche Unterschied aber besteht in der Datenmenge. Ist diese gering und kann der Untersuchungsraum aufgrund seiner Größe noch unmittelbar erfasst werden, so besteht keine Veranlassung moderne Analyse- und Visualisierungsmethoden einzusetzen. Stehen dagegen sehr viele Daten für eine Auswertung zur Verfügung, deren räumlicher Bezug zueinander entweder sehr groß und/oder sehr komplex strukturiert ist, stellen die Geographischen Informationssysteme ein ideales Werkzeug dar, um aus den Daten Informationen ableiten und damit die fachlichen Fragestellung bearbeiten zu können. Diese Abhängigkeit zwischen Datenmaterial und Auswertemethode gilt nicht nur für die Informationsverwaltung in Geographischen Informationssystemen, sondern ebenso beim Einsatz von 3D-Modellen und Visualisierungen, sofern mit diesen ergänzende Attribute in einer Datenbank verbunden sind.

Werden Denkmalinventare mit Hilfe von GIS-Systemen erstellt, lassen sich alle Untersuchungen zur Denkmaltopographie und Denkmaltypologie sehr viel schneller und einfacher bearbeiten und vor allem anschaulicher präsentieren. Dabei ist für die topographischen Fragestellungen entscheidend, dass mit Hilfe der GIS-Programme räumliche Analysen über die Verteilung und die Beziehungen der Denkmale hervorragend bearbeitet werden können [vgl. z.B. BARTOLOTTA et al., 2000]. Im Rahmen der Denkmaltypologie eröffnet die Kombination von strukturierter Datenverarbeitung innerhalb einer Datenbank mit der Möglichkeit der räumlichen Analyse breite Anwendungsmöglichkeiten für die GIS-Systeme. Hier ist an erster Stelle der einfache und schnelle Zugriff auf typologisch vergleichbare Objekte zu nennen, wodurch ein leistungsfähiges Werkzeug zur typologischen Einordnung neu erfasster Bauwerke bereitgestellt werden kann. Durch die vielfältigen Analysefunktionen und Visualisierungsmöglichkeiten sind GIS-Systeme auch in der täglichen Denkmalpflegepraxis als Arbeitswerkzeug zur Entscheidungsfindung effektiv einzusetzen [KOBERMAIER, 1997].

[49] Auch für den Bauaufnehmenden im Handaufmaß ist die ständige Überprüfung der Bewertungskriterien und Analyseergebnisse ein wesentlicher Beitrag zur Selbstkontrolle.

In der Archäologie können unter Verwendung von GIS-Systemen alle Ausgrabungsbefunde einschließlich der notwendigen Dokumentationen inventarisiert werden. Aufgrund der großen Anzahl und oftmals unstrukturierten Verteilung der vielen, auf den ersten Blick scheinbar unbedeutenden Kleinfunde stellt die Inventarisierung innerhalb eines GIS die einzige wirtschaftliche Möglichkeit dar, alle Funde sowohl inhaltlich als auch geographisch zu erfassen. Hierfür ist die sofortige Aufnahme aller wichtigen Informationen während der Ausgrabung notwendige Voraussetzung. Neben den dreidimensionalen Fundkoordinaten zählen eine erste Klassifizierung, die Beschreibungen der wichtigsten Charakteristika, eine fotografische Dokumentation und andere denkbare Angaben zu den objektbezogenen Informationen. Da die GIS-Systeme auch auf tragbaren Feldcomputern eingesetzt werden können und über Digitalkameras eine fotografische Online-Dokumentation möglich ist, sollte die Erfassung über ein GIS-System zum Standard jeder großen Ausgrabung gehören.

Auch wenn die GIS-Systeme noch nicht überall als tägliches Arbeitswerkzeug akzeptiert sind, lässt sich doch eine zunehmende Verbreitung sowohl zur Denkmalinventarisierung [z.B. BARTOLOTTA et al., 2000; DIA, 2001; KOBERMAIER, 1997] als auch in archäologischen Projekten [z.B. BÖHLER et al., 1997; ARCHÄOMAP, 2001; WESTCOTT, BRANDON, 1999] feststellen.

Eine neue Qualität erhalten die GIS-Systeme durch die Verknüpfung der GIS-Funktionalität mit den Möglichkeiten des Internet [z.B. WEBKIS, 2001]. Durch diese so genannten WEB-GIS ist es möglich, möglichst vielen Nutzern den Zugang zu den Daten und Analysefunktionen zu gewähren oder bei großen internationalen Arbeitsgruppen ein verteiltes Arbeiten der einzelnen Projektpartner an ihren jeweiligen Standorten durchzuführen. Diese Art der Datenverarbeitung und -bereitstellung bieten sich für übergeordnete Planungsdaten aus dem Denkmalpflegebereich an, die hierdurch möglichst einfach und schnell an der Planung beteiligten Personen und Institutionen zugänglich gemacht werden können. Doch auch zur Bearbeitung einzelner Projekte kann eine weltweite Verbreitung der Ergebnisse im Form eines WEB-GIS nützlich sein, weil hierdurch ein besonders schneller Wissenstransfer zu erreichen ist und eine optimale Rückkopplung mit dem interessierten Fachpublikum erzielt werden kann [vgl. CATAL HÖYÜK, 2001; GRÜN et al., 2000].

Eine besonders breite Anwendung erfahren die Geographische Informationssysteme als wesentliches Element von Facility Management Systemen. Die in diesem Bereich Gebäude-Informationssysteme genannten GIS-Programme stellen für die zu verwaltenden Gebäude den geometrischen Bestandsnachweis bereit, mit dem alle raumbezogenen Informationen eines Facility Management Systems verbunden werden können. Obwohl die GIS-Systeme schon lange in diesem Bereich eingesetzt werden, arbeiten nicht alle Facility Management Programme mit vollausgebauten GIS-Komponenten. Viele der auf dem Markt etablierten Facility Management Systeme sind aus CAD-Programmen heraus entwickelt worden und können deshalb nicht die volle Funktionalität üblicher GIS-Programme bezüglich Datenverwaltung, Analyse und Visualisierung bieten [SCHÜRLE et al., 1998]. Trotzdem sollte der Einsatz von Facility Management Systemen zur Inventarisierung von Gebäudedaten auch in der Bauforschung, Denkmalpflege oder Archäologie erwogen werden, weil in diesen Programmen – im Gegensatz zu klassischen GIS-Systemen – eine raumbezogene Ordnungsstruktur leicht zu realisieren ist.

5 Methoden der Bauaufnahme

Wird die Bauaufnahme als Modellierungsaufgabe verstanden, nimmt die Erfassung der Objekteigenschaften als erster Schritt eine herausragende Bedeutung ein. Es können nur die Attribute des Originals im Modellierungsprozess verarbeitet werden, die mit einem Erfassungswerkzeug bestimmt worden sind. Bei der Entscheidung über die einzusetzenden Methoden sind als Grundlage die im Kapitel 'Anwendungsgebiete der Bauaufnahme' definierten Anforderungen der verschiedenen Fachrichtungen zu berücksichtigen. Häufig wird jedoch zur Bauaufnahme nur das Verfahren[1] eingesetzt, über das die meisten persönlichen Erfahrungswerte des Bauaufnehmenden vorliegen [MADER, 2001]. Selten handelt es sich dabei um die einzige, nicht immer um die beste Lösung der Problemstellung, oft sind andere Methoden für die Zielstellung der Bauwerksmodellierung besser geeignet. Um das Potenzial der jeweiligen Methoden für die Erfassung von Bauwerken beurteilen und nutzen zu können, sollten die Möglichkeiten und Grenzen aller zur Verfügung stehenden Werkzeuge bekannt sein. Nur mit diesem Wissen kann eine sinnvolle Entscheidung über den Einsatz der Erfassungsmethode für den jeweiligen Zweck getroffen werden.

Im Folgenden sollen die wesentlichen Merkmale der unterschiedlichen Bauaufnahmeverfahren zusammengestellt werden. Hierbei werden entsprechend der besonderen Bedeutung der geometrischen Objekteigenschaften[2] die Messmethoden zur Erfassung der Geometrie im Vordergrund stehen. Ergänzend wird die Eignung des jeweiligen Verfahrens zur Erfüllung der besonderen fachlichen Anforderungen der verschiedenen Anwendungsgebiete der Bauaufnahme untersucht. Soweit notwendig und sinnvoll werden die Aspekte der 'Allgemeinen Modelltheorie' für eine Bewertung der Bauaufnahmemethoden berücksichtigt.

5.1 Handaufmaß

Die Erfassung der Bauwerksgeometrie mit einfachsten Hilfsmitteln wie Zollstock, Wasserwaage und Lot wird im Allgemeinen mit dem Begriff 'Handaufmaß' bezeichnet. Hierunter kann sowohl das in geometrischer wie inhaltlicher Hinsicht sehr einfache, so genannte 'Architektenaufmaß' wie auch das anspruchsvolle 'verformungsgerechte Handaufmaß' verstanden werden.

5.1.1 Architektenaufmaß

Sollen die wesentlichen geometrischen Größen eines Baukörpers schnell und einfach erfasst werden, wird in vielen Anwendungen auf die Methode des Architektenaufmaßes zurückgegriffen. Hierbei wird nach der so genannten Skizziermethode die Geometrie aufgezeichnet und meist durch Messen von Strecken vermaßt. Die entstandene Skizze stellt entweder bereits das Endergebnis dar oder im Nachhinein wird ein überarbeiteter Plan erstellt, der konventionell gezeichnet werden kann bzw. im CAD-System zu entwerfen ist.

Neben dieser konventionellen Arbeitsweise besteht die Möglichkeit, auch das Architektenaufmaß konsequent digital auszuführen. Unter Verwendung neuer Softwareprogramme [ADDPLAN, 2000; QUICK SKETCH, 2001] können mit Freihandzeichnungen entworfene Skizzen durch die Integration von gemessenen geometrischen Größen (meist Strecken) in maßstäbliche 2D-Pläne oder 3D-Computermodelle überführt werden. Die Skizze wird hierbei entweder mit einem Stift direkt auf dem Computerbildschirm gezeichnet, oder mit Bleistift auf Papier erstellte Skizzen werden gescannt, vektorisiert und anschließend im Rechner bearbeitet. Durch diesen Verarbeitungsprozess erhält die Bauwerksskizze in gesamten Modellierungsvorgang eine umfassendere Bedeutung. Bei der analogen Arbeitsweise ist die Skizze das Endprodukt der Modellierung. Wird dagegen durch das Architektenaufmaß ein digitaler Datensatz aufgebaut, kann die letztendlich entstehende CAD-Zeichnung in vielen Anwendungen effektiver und vielfältiger eingesetzt werden. Aus den CAD-Daten können wiederum neue Modelle in Form von abgeleiteten Schnitten oder speziellen Animationen etc. erzeugt und im weiteren Modellierungsprozess verwendet werden. Die Repräsentation der Bauwerksskizze in Form einer CAD-Datei bildet die notwendige Grundlage, um mit

---

[1] Die Begriffe 'Methode' und 'Verfahren' werden im gleichen Bedeutungssinn verwendet, als planmäßiges Vorgehen zur Lösung einer Aufgabe.

[2] vgl. Kap. 2.2, 'Der Modellcharakter von Bauaufnahmen'

den geometrischen Daten Sachinformationen verknüpfen und hierdurch ein umfassendes Informationssystem aufbauen zu können. Darüber hinaus kann eine CAD-Datei aus einer schnell entworfenen Handskizze wirtschaftlicher erstellt werden, als durch eine komplette Neuzeichnung im CAD-System auf der Grundlage von Skizzen und Messungen. Weiterhin sind diese so genannten Sketch-Programme sehr gut zur Überprüfung vorhandener Pläne geeignet, da sich die Geometrie durch wenige Streckenmessung kontrollieren lässt und, soweit Abweichungen festzustellen sind, eine Anpassung an die korrekten Raummaße erfolgen kann.

Beim Architektenaufmaß wird ein übergeordnetes Koordinatensystem für den gegenseitigen Bezug der Objekte generell nicht verwendet. In Gebäuden wird die Rechtwinkligkeit von Raumelementen in vielen Fällen ohne Überprüfung unterstellt und für die relative Anordnung von Raumgruppen genutzt [HEILIGER, 1995a]. Eine Analyse der Bausubstanz findet normalerweise nicht statt, erfasst werden nur die sehr einfach, schnell und ohne besondere Fachkenntnis zu bestimmenden geometrischen Parameter. So entsteht durch das Architektenaufmaß ein Planwerk, in dem alle wichtigen Baukonturen enthalten sind, aber keine sonstigen inhaltlichen Informationen (Abb. 5.1).

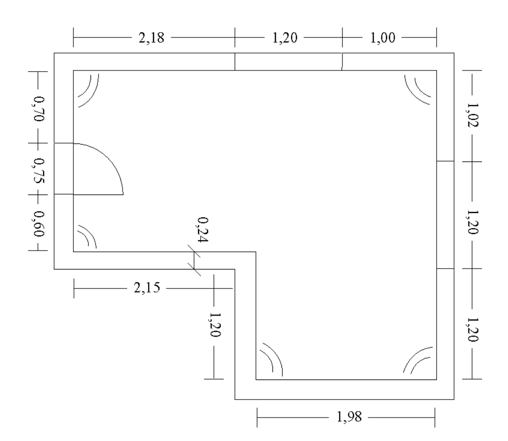


Abb. 5.1: Architektenaufmaß

Aufgrund der starken Generalisierung während der Geometrieerfassung und der fehlenden Auseinandersetzung mit den übrigen inhaltlichen Bauwerkseigenschaften wird durch das Architektenaufmaß ein Modell erzeugt, das nur eine eingeschränkte, nicht vollständige Übereinstimmung mit dem Originalbauwerk aufweist. Im Sinne der 'Allgemeinen Modelltheorie' wird das übergeordnete Beziehungsgefüge nicht mit in den Modellierungsvorgang integriert, es handelt sich vielmehr um eine allgemeine Vermessung ohne speziellen Bezug zum Erfassungsobjekt, dem Bauwerk. Generell wird nur eine Eigenschaft, die Geometrie, modelliert, sodass die Verwendung des Modellierungsbegriffs für das Architektenaufmaß nicht anzuwenden ist und somit die Bezeichnung 'Bauaufnahme' im engeren Sinn nicht gerechtfertigt ist[3]. Das Architektenaufmaß sollte daher nur unter sehr genau definierten Zielsetzungen für die Vermessung von Bauwerken genutzt werden. Hierzu können Geometrieerfassungen für einfache Sanierungen gerechnet werden, sofern keine Aussagen zu Denkmaleigenschaft, Bauzustand, Statik oder weiteren die Sanierung betreffende Eigenschaften gemacht werden sollen. Für den Aufbau von Gebäudeinformationssystemen ist das Architektenaufmaß unter Umständen aus Gesichtspunkten der geometrischen Genauigkeit geeignet. Wird der Einsatz des Architektenaufmaßes erwogen, sollte berücksichtigt werden, dass die benötigten digitalen Daten im Anschluss an die eigentliche Vermessung während eines zusätzlichen Arbeitsganges erzeugt werden müssen, sofern nicht direkt in CAD-Programmen gearbeitet wird.

Für die Bauforschung kann das Architektenaufmaß genutzt werden, wenn nach der Vermessung ein weiterer Arbeitsschritt angeschlossen wird, der einen Bezug zwischen Geometrie und anderen inhaltlichen Parametern herstellt. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn auf der geometrischen Grundlage des Architektenaufmaßes eine ergänzende Bewertung mit baugeschichtlichen Fachwissen von z.B. Bauphasen, Baualter oder Baukonstruktion vorgenommen und in den Plänen als Kommentar vermerkt wird. Dann kann diese Methode für eine denkmalpflegerische Bewertung im Rahmen von Inventari-

[3] Von R. Heiliger ist der Begriff 'Architektur-Vermessung' für die Geometriebestimmung von Bauwerken geprägt worden [HEILIGER, 2000]. Das Architektenaufmaß könnte ebenso unter dieser Bezeichnung eingeordnet werden.

sierungen oder vereinfachten Erfassungen eingesetzt werden. Ohne die in den ergänzenden Signaturen oder Kommentaren enthaltenen Fachbewertungen ist das Architektenaufmaß für eine denkmalpflegerische Analyse ohne Wert. Im Gegensatz zum verformungsgerechten Aufmaß kann aus der schematisch erfassten Geometrie alleine keine Aussage z.B. zu Denkmalwert oder konstruktiven Besonderheiten getroffen werden[4].

5.1.2 Verformungsgerechtes Handaufmaß

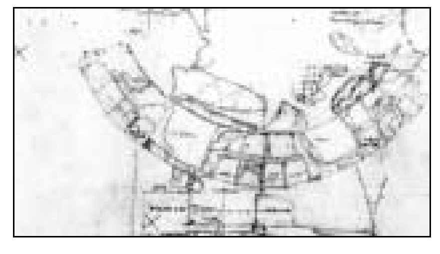
Mit dem Begriff 'verformungsgerechtes Handaufmaß' wird eine Methode zur kombinierten Erfassung von inhaltlichen und geometrischen Bauwerkseigenschaften bezeichnet. Das Handaufmaß wird als Messverfahren für die geometrische Objektmodellierung eingesetzt, durch das vorangestellte Adjektiv 'verformungsgerecht' werden die Anforderungen an den Gesamtvorgang der Modellierung näher eingegrenzt. Obwohl die Bezeichnung 'verformungsgerechtes Handaufmaß' nahezu immer als feststehender, zusammengehörender Begriff verwendet wird, soll hier zunächst näheres zur Eigenschaft der Verformungstreue herausgearbeitet werden, bevor die Messmethode 'Handaufmaß' charakterisiert und abschließend die besondere Bedeutung dieser Erfassungsmethode aufgezeigt wird.

Der Einsatz des verformungsgerechten Handaufmaßes für die Bauaufnahme wird besonders dann in Erwägung gezogen, wenn ein anzufertigendes Bauwerksmodell das Original in seiner tatsächlichen, nicht idealisierten Form mit allen eventuell vorhandenen Deformationen, Schäden etc. wiedergeben soll. Es wird demnach keine Generalisierung der Objektgeometrie vorgenommen, die dazu führen würde, dass z.B. durchlaufende begrenzende Kanten als gerade Linien dargestellt würden. Vielmehr werden Abweichungen von dieser ideellen Linie durch Messung bestimmt, modelliert und dargestellt. Wird das Verfahren des verformungsgerechten Handaufmaßes angewendet, soll generell genau die Differenz von der geometrischen Idealform bestimmt werden, weil aus diesen, jeden Baukörper individuell charakterisierenden Informationen wichtige Erkenntnisse über Baugeschichte, statischen Zustand etc. gewonnen werden können. Inwieweit die Forderung nach Verformungstreue erfüllt werden kann, hängt wesentlich von dem gewählten Arbeitsmaßstab ab.

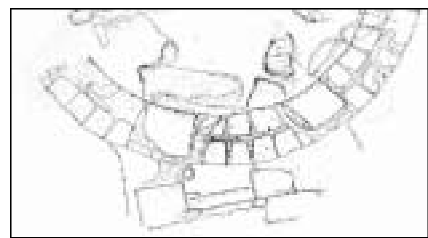
Um diesen Anspruch an die Bauaufnahme sicherstellen zu können, kann die Messmethode des Handaufmaßes eingesetzt werden. Die Messungen im Handaufmaß werden generell mit den einfachen Werkzeugen Zollstock[5], Wasserwaage und Lot ausgeführt (Abb. 5.2a) und sofort maßstäblich mit Bleistift auf Karton oder Folie gezeichnet[6] (Abb. 5.2b).



a) verformungsgerechtes Handaufmaß mit Zollstock



b) Bleistiftplan, Palatin, Ausschnitt Ebene 5, Originalmaßstab 1:50



c) Tuscheplan, Palatin, Ausschnitt Ebene 5, Originalmaßstab 1:50

Abb. 5.2: Verformungsgerechtes Handaufmaß

Hierdurch ist sichergestellt, dass die Analyse des Baukörpers, die Messung der Geometrie und die Darstellung in Form einer Zeichnung, also der gesamte Modellierungsvorgang, vor Ort in einem Arbeits-

[4] vgl. [MADER, 2001]

[5] Hierzu zählt auch der 'elektronische Zollstock', ein reflektorlos arbeitender Entfernungsmesser, der auch und besonders für das Architektenaufmaß eingesetzt wird. Vgl. auch Kap. 5.2.2, 'Tachymetrische Verfahren ohne unmittelbare Signalisierungsmöglichkeit am Objekt'.

[6] Die sofortige Integration von Handaufmaßmessungen in CAD-Pläne wird im Kap. 5.1.1, 'Architektenaufmaß' und im Kap. 5.2.3, 'Online-Darstellung tachymetrischer Messungen' behandelt.

prozess ausgeführt werden kann. Die enge räumliche Beziehung zum Objekt der Bauaufnahme soll eine vertiefende Auseinandersetzung mit dem Bauwerk sicherstellen, durch die während der Bauaufnahme eine bessere Interpretation der Informationen ermöglicht werden soll.

Damit ist das verformungsgerechte Handaufmaß nicht nur Messmethode zur Bestimmung der Bauwerksgeometrie, sondern analytischer Vorgang zum Erkennen und Modellieren der übrigen inhaltlichen Bauwerksparameter[7]. Gleichzeitig wird durch die sofort ausgeführte Zeichnung der gemessenen Eigenschaften eine Kontrolle der Genauigkeit, der Zuverlässigkeit und der Vollständigkeit ermöglicht. Dies gilt besonders im Vergleich zum Architektenaufmaß oder allen anderen Verfahren, die nach den Prinzipien der Skizziermethode arbeiten und somit eine zeitliche oder örtliche Trennung von Messung und Zeichnung vornehmen. Um ein Bauaufnahmeobjekt in seiner gesamten komplexen Form umfassend verformungsgerecht aufnehmen zu können, sind in Abhängigkeit von der Objektstruktur und dem verwendeten Arbeitsmaßstab eine Vielzahl von Messungen auszuführen. Auch wenn durch das Handaufmaß Messungen schnell und einfach vorgenommen werden können, ist der verformungsgerechten Modellierung aus praktischen Gründen eine Grenze gesetzt, die dazu führt, dass auch bei Anwendung des verformungsgerechten Handaufmaßes eine Punktauswahl vorgenommen werden muss. Um für alle nicht gemessene Bereiche eine verformungsgerechte Modellierung annähernd sicherstellen zu können, erfolgt die Darstellung in portraitierender Art und Weise. Durch eine portraitierende Zeichnung werden z.B. Linienverläufe, Ausbrüche, Verwitterungskanten skizzenhaft in ihrer Art und Ausprägung, aber nicht in ihrem exakten geometrischen Verlauf erfasst[8]. Diese Form der Darstellung betont die inhaltliche Aussage vor der geometrischen Richtigkeit. Sie ist damit ein typisches Beispiel für eine Reduktion einer Eigenschaft, um die wichtigere besonders deutliche herausarbeiten zu können. Je nach Abstand der mit dem Handaufmaß bestimmten Punkte kommt die portraitierende Darstellung auch in geometrischer Hinsicht dem Original nahe. Dieses Vorgehen kann auch als Erfassungsgeneralisierung angesehen werden, wobei die Arbeitsweise beim verformungsgerechten Handaufmaß von sonst üblichen geometrischen Generalisierungen abweicht. In nachfolgender Abbildung werden die Unterschiede zwischen einer generalisierenden und verformungsgerechten Erfassung aufgezeigt.

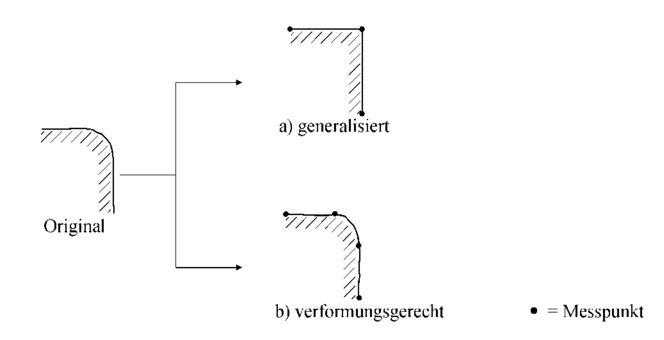


Abb. 5.3: Generalisierende und verformungsgerechte Erfassung

In der generalisierenden Vorgehensweise, wie sie in der Mehrzahl der geodätischen, photogrammetrischen oder kartographischen Anwendungen anzutreffen ist, wird der theoretische Schnittpunkt der beiden Kanten als Messpunkt erfasst (Abb. 5.3a). Für die verformungsgetreue Modellierung (Abb. 5.3b) werden dagegen nur die Punkte gemessen, die auch am Original zu verifizieren sind, und der dazwischen liegende Bereich wird portraitierend gezeichnet. Um die gemessenen Punkte auch tatsächlich reproduzieren zu können, wird in einigen Fällen eine Vermaßung aller Handaufmaßpläne vorgenommen; gleichzeitig sollen hierdurch eventuell auftretende Fehlereinflüsse durch Papierverzug erkannt werden können[9][PETZET, MADER, 1993].

In den meisten Anwendungsgebieten wird die Modellierung der nicht geometrischen Bauwerkseigenschaften bei Einsatz des verformungsgerechten Handaufmaßes gleichzeitig mit der geometrischen Erfas-

[7] Bei [HANSEN, 2001] wird dem analytischen Vorgang die absolute Dominanz über der objektiven Geometriebestimmung zugestanden. Hier wird die Zeichnung als Endprodukt des Handaufmaßes nicht als naturalistische Abbildung eingeordnet, sondern als eine Niederschrift von Beobachtungen in einer bestimmten Symbolsprache angesehen.

[8] Diese Art der Darstellung widerspricht dem geodätischen Verständnis zum Entwurf von Plänen, bei dem die Lücke zwischen gemessenen Punkte durch geradlinige oder mathematisch zu beschreibende Verbindungen geschlossen wird.

[9] Obwohl diese Effekte durch die zusätzliche Darstellung von Koordinatenkreuzen in einem Plan leicht zu erfassen sind.

sung ausgeführt. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei z.B. um die Bestimmung der Oberflächenmaterialien, die Erfassung konstruktiver Zusammenhänge oder auch die Analyse vorhandener Bauschäden; weitere inhaltliche Untersuchungen sind je nach Anwendung denkbar. Alle während des Handaufmaßes bestimmten Bauwerksparameter werden in Art der Darstellungsmodelle durch Signaturen oder Textinformationen in den Bauaufnahmeplan eingetragen (Abb. 5.2b). Durch Hochzeichnen der wichtigsten Objektstrukturen und Bauwerksinformationen wird aus dem Bleistiftplan der endgültige, in Tusche ausgeführte Bauaufnahmeplan erstellt (Abb. 5.2c). Diese Tuschezeichnung muss darüber hinaus den an die Bauaufnahme gestellten Darstellungsanforderungen im Sinne einer 'ästhetisch schönen' Präsentation genügen.

Als übergeordneter geometrischer Bezugsrahmen werden generell rechtwinklige Koordinatensysteme verwendet, die in den meisten Anwendungsgebieten in Form von Schnurgerüsten (Abb. 4.9, Abb. 4.10), aber auch nach Art der verdichteten Bezugsnetze (Abb. 4.12) realisiert werden.

Das Genauigkeitspotenzial für das verformungsgerechte Handaufmaß ist getrennt für die absolute und relative Genauigkeit abzuschätzen. Die relative Genauigkeit des Handaufmaßes wird überwiegend durch die Genauigkeit der Streckenmessung mit dem Zollstock bestimmt. Vorausgesetzt der zu messende Punkt ist am Objekt mit hoher Genauigkeit ausgewählt worden[10], kann eine Ablesung am Zollstock mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern ausgeführt werden. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass der Zollstock am Objekt anliegt oder die Projektion auf die Bezugsebene streng rechtwinklig vorgenommen wird. Für Grundrissmessungen darf somit auf keinen Fall auf das Lot als Hilfswerkzeug verzichtet werden, bei Ansichten oder Schnitten ist eine Rechtwinkel-Lehre einzusetzen. Ebenfalls ist sicherzustellen, dass alle Strecken in zur Abbildungsebene parallelen Ebenen gemessen werden. Exemplarisch ist eine Messanordnung für die Grundrissmessung in Abbildung 5.4 skizziert[11].

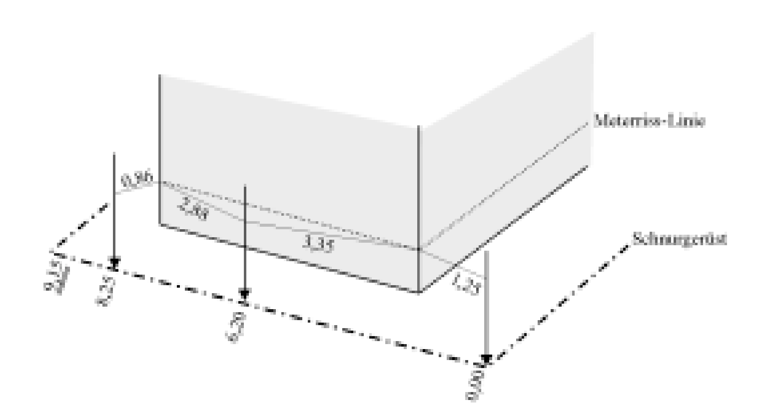


Abb. 5.4: Grundrissmessung mit Lot und Zollstock.

Die vielfach anzutreffende, mit dem Zollstock ausgeführte additive Messung von Einzelstrecken erlaubt zwar eine gute relative Genauigkeit, doch nur eine geringe absolute Genauigkeit, da hier systematische Fehler mit aufaddiert werden[12]. Eine gute absolute Genauigkeit kann nur sichergestellt werden, wenn ein hochgenaues Festpunktfeld als Koordinatenbezugsrahmen verwendet wird und dieses Netz soweit verdichtet ist, dass die Messungen im Handaufmaß auf kleinräumige Bereiche mit dem Radius einer Zollstocklänge beschränkt bleiben. Werden ausgedehntere Schnurgerüstnetze als Bezugsrahmen verwendet, so kann die absolute Genauigkeit nur in Größenordnungen von einigen Zentimetern eingehalten werden. Obwohl das Einrichten der Messschnüre durch Richtungsmessungen mit Theodolit oder Tachymeter sowie der Einsatz von Rotationslasern bei entsprechender Handhabung die Genauigkeit von Schnurgerüsten verbessern kann, sollten Schnurgerüste für größere Objekte nicht eingesetzt werden.

[10] vgl. Kap. 4.1, 'Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme'

[11] Vertiefende Darstellungen der Messmethode des verformungsgerechten Handaufmaßes sind der Fachliteratur zu entnehmen [z.B. CRAMER, 1993; WANGERIN, 1992; WULF-RHEIDT, WOLF, 1996].

[12] Übergreifende Gesamtmaße können nur eine Kontrolle im Bezug auf grobe Fehler in den gemessenen Einzelmaßen darstellen. Bei mit 20- oder 50-Meter-Messbändern gemessenen Strecken ist für hohe Genauigkeitsanforderungen der Einfluss des Messbanddurchhangs zu berücksichtigen.

Die Einsatzgebiete des verformungsgerechten Handaufmaßes sollten nach den gemachten Ausführungen auf die Erfassung kleinerer Objekte beschränkt bleiben. An erster Stelle ist hierbei die Anwendung in der historischen Bauforschung zu nennen, bei der durch die forschende Auseinandersetzung mit dem Bauwerk neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden sollen. Das Handaufmaß als direkt vor Ort auszuführende und besonders zeitintensive Methode stellt eine intensive Beschäftigung mit dem Gegenstand der Bauaufnahme sicher, sodass die baugeschichtliche Fragestellung während des Erkenntnisprozesses entwickelt werden kann [MADER, 1982; SCHULLER, 2001]. Für größere Objekte ist der ausschließliche Einsatz des Handaufmaßes zu erwägen, wenn die räumlichen Verhältnisse sehr beengt sind. Ein typisches Beispiel kann in der Bauaufnahme von Dachstühlen gesehen werden, bei der das Handaufmaß mit Schnurgerüsten eine sinnvolle Messmethode darstellt [HOF, 2001]. Ähnlich effektiv ist das verformungsgerechte Handaufmaß bei restauratorischen Fragestellungen und in der Denkmalpflege einzusetzen, sofern eine analytische Auseinandersetzung mit dem Baukörper geleistet werden soll. Gleiches gilt für den Einsatz bei allen Fragestellungen, die im Zusammenhang von denkmalpflegerischen Inventarisierungen oder archäologischen Surveys auftreten. Auch wenn bei diesen beiden Anwendungen aufgrund des kleineren Maßstabes und der geringeren Genauigkeitsanforderung die Methode des Architektenaufmaßes einzusetzen wären, sind dennoch wegen der starken fachbezogenen Erfassungsgeneralisierung und den damit verbundenen analytischen Anforderungen die Prinzipien des verformungsgerechten Handaufmaßes anzuwenden. Nur hierdurch können spezifische Besonderheiten des Bauwerks bereits durch die Geometriemodellierung herausgearbeitet werden.

Für einige Fragestellungen kann neben den üblichen Bauaufnahmeplänen der Maßstäbe 1:10 bis 1:100 eine Erfassung von Teilbereichen bis zu einem Maßstab von 1:1 notwendig sein.

Hierfür werden zum einen die Werkzeuge des verformungsgerechten Handaufmaßes eingesetzt, die jedoch zur Einhaltung der dem Maßstab entsprechenden Genauigkeitsanforderung mit höchster Sorgfalt angewendet werden müssen. Beispielsweise kann zur Modellierung von größeren Profilen oder Ansichten, wie sie an Kapitellen oder anderer Bauornamentik anzutreffen sind, das übliche Loten der Objektpunkte auf definierte Bezugsebenen vorgenommen werden (Abb. 5.5). Allerdings werden hier selten Schnüre verwendet, sondern vielmehr feste Messrahmen aus Holz.

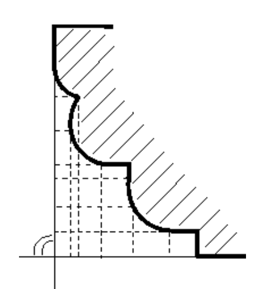
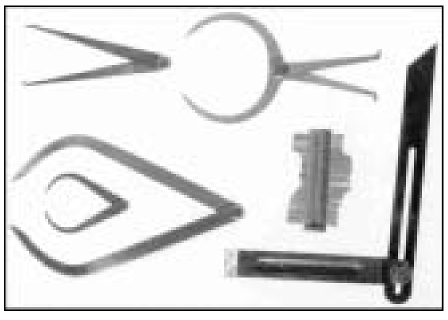


Abb. 5.5: Erfassung von Profilen durch verformungsgerechtes Handaufmaß

Des Weiteren sind verschiedene mechanische Messwerkzeuge verfügbar, mit denen die Geometrie direkt am Objekt abgenommen wird. Obwohl diese Hilfsmittel nicht im engeren Sinne zum verformungsgerechten Handaufmaß gezählt werden können, sollen die typischen Instrumente und Vorgehensweisen hier der Vollständigkeit halber genannt werden. Dies geschieht insbesondere deshalb, weil mit diesen Werkzeugen zwar eine naturalistische Geometrieerfassung vorgenommen wird, aber der analytische Gedanke des verformungsgerechten Handaufmaßes im Vordergrund steht.

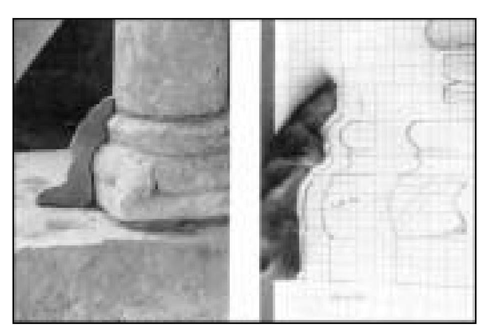
Kleine, ebene Bereiche, deren Oberfläche reliefartig gestaltet ist, können sehr gut mit der 'Durchreibetechnik' erfasst werden [WANGERIN, 1992]. Die Anwendung von Abklatschpapier ist in diesen Fällen ebenso geeignet wie zur Erfassung stärker strukturierten und gekrümmter Objekte.

Mit den Messwerkzeugen Zange, Zirkel, Winkelschablone oder Messkamm lassen sich Strecken und Winkel im Maßstab 1:1 erfassen (Abb. 5.6a), Profile sind einfach und schnell mit Plastilin vom Originalobjekt abzunehmen (Abb. 5.6b).





a) mechanische Erfassungswerkzeuge



b) Plastilin

Abb. 5.6: Erfassungswerkzeuge für 1:1 Modellierungen [KNOOP et al., 1992]

5.2 Tachymetrische Bauaufnahmemethoden

Seit die Bauaufnahme zur Erfassung kleiner oder großräumiger historischer und archäologischer Objekte eingesetzt wird, gehören die geodätischen Messverfahren zu den grundlegenden Methoden der Geometriebestimmung. Nicht immer tritt dabei der geodätische Beitrag so offensichtlich zu Tage, wie das vielfach bei der topographischen Aufnahme archäologischer Stätten geschieht (Abb. 5.7). Oft wurde – und wird noch heute – der Theodolit von Architekten oder Archäologen eingesetzt, um Achssysteme einrichten oder Festpunktfelder anlegen zu können. Zur Lösung der geodätischen Fragestellungen wurden die geodätischen Instrumente und Methoden der jeweiligen Zeit verwendet; eine Entwicklung eigenständiger, auf die besonderen Probleme der Bauaufnahme ausgerichteter Vorgehensweisen hat lange Zeit nicht stattgefunden. Dies ist auch an den verschiedenen Lehrbüchern zur Bauaufnahme oder Vermessungskunde für Architekten abzulesen, in denen eine getrennte Vermittlung von vermessungstechnischem Grundwissen und verformungsgerechter Bauaufnahme im Handaufmaß erfolgt [z.B. SECKEL et al., 1983].



Abb. 5.7: 'Flüchtige Aufnahme' der Oase Farafrah durch W. Jordan, ausgeführt vom 30. Dezember 1873 bis zum 2. Januar 1874 [JORDAN, 1877]

Die Entwicklung spezieller geodätischer Methoden für die Bauaufnahme hat mit der Etablierung elektrooptischer Tachymeter und digitaler Auswertemethoden eingesetzt [KEHNE, 1989; KORTE, 1988]. Insbesondere unter Verwendung reflektorlos arbeitender Tachymeter konnten neue Konzepte zur Bauwerksvermessung realisiert werden [BUCHMANN, 1996; RUNNE, 1993], die in Verbindung mit der digitalen Datenverarbeitung neue Anwendungsfelder erschlossen. Obwohl die wirtschaftlichen Potenziale, die mit der Nutzung von digitalen Geometrie- und Sachdaten für den Bereich des Gebäudemanagements verbunden sind, die Entfaltung tachymetrischer Methoden in der Bauaufnahme wesentlich vorangetrieben haben [HEILIGER, 1995b; SCHRADER 1995], erfolgt über diesen Bereich hinaus eine immer breitere Anwendung der tachymetrischen Bauaufnahmemethoden zur Erfassung historischer Bauwerke, denkmalgeschützter Objekte und archäologischer Stätten.

Unter die tachymetrischen Bauaufnahmemethoden sollen nachfolgend alle Bauaufnahmeverfahren eingeordnet werden, bei denen zur Vermessung der Bauwerksgeometrie überwiegend das tachymetrische Messprinzip eingesetzt wird, d.h. ausgehend von einem Instrumentenstandpunkt die polaren Messgrößen Winkel und Strecke zur Beschreibung der geometrischen Bauwerksparameter bestimmt werden[13]. In der Regel werden aus den polaren Messelementen übergeordnete Koordinaten berechnet, sodass ein Festpunktfeld für den übergeordneten Koordinatenbezug angelegt werden muss[14].

Im Gegensatz zum Handaufmaß werden bei den tachymetrischen Methoden die Messgrößen nicht direkt am Bauwerk erfasst, sondern vom Instrumentenstandpunkt durch Anzielen mit dem Fernrohr und Auslösen der Messung bestimmt. Entsprechend den örtlichen Verhältnissen und den Anforderungen an die Messanordnung befindet sich das Instrument dicht vor dem Bauaufnahmeobjekt oder weiter entfernt mit freier Sicht auf den Erfassungsbereich. Sofern eine Signalisierung der Messpunkte nicht unmittelbar am Bauwerks erfolgen muss, wird durch das indirekte Messverfahren der Kontakt zum Bauwerk aufgegeben. Wie schon im Kapitel 'Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme' dargelegt wird hierdurch ein weiterer Schritt in die Folge der einzelnen Modellierungsstufen eingeschoben, der unter Umständen wesentliche Auswirkungen auf das Ergebnis der Geometriemodellierung hervorrufen kann. Für alle tachymetrischen Messverfahren ist deshalb am Beginn der Bauaufnahme zu definieren, welche Eigenschaften des Bauwerks mit welcher Genauigkeit modelliert werden sollen. Insbesondere ist zu berücksichtigen, inwieweit Fragen der Erfassungsgenauigkeit und Erfassungsgeneralisierung auf die Durchführung der tachymetrischen Aufnahme einen Einfluss ausüben sollen.

Als Instrumente für tachymetrische Aufnahmen können sowohl reflektorlos oder mit Reflektor arbeitende Tachymeter eingesetzt werden als auch im einfachsten Fall ein Theodolit in Kombination mit einem Messband. Vielfach werden die reflektorlos arbeitenden Handentfernungsmesser (elektronischer Zollstock) mit oder ohne Verbindung zu Theodoliten verwendet [KERN, 2001; KORTE, 1995; LEICA, 2000]. Wird die Geometriebestimmung durch elektrooptische Tachymeter als Messinstrumente ausgeführt, müssen die am Bauwerk zu erfassenden Punkte unter Verwendung eines Reflektors signalisiert werden. Nur so kann das zur Entfernungsmessung vom Gerät ausgesendete Messsignal wieder zum Tachymeter reflektiert werden. Bei den seit einigen Jahren auf dem Markt befindlichen reflektorlos arbeitenden Tachymetern [GEODIMETER, 2000; LEICA, 2000; MICHELBACHER, 1993; SOKKIA, 2000; TOPCON , 2000] wird das Messsignal auch von natürlichen Oberflächen reflektiert, sodass auf die Signalisierung durch einen speziellen Reflektor verzichtet werden kann.

Für eine systematische Darstellung der tachymetrischen Methoden ist in Verfahren mit unmittelbarer Signalisierung am Objekt und in reflektorlos messenden Verfahren zu differenzieren. Aus methodischen Gesichtspunkten ist weiterhin eine Unterscheidung zu treffen, ob die Messergebnisse in einem zweiten Auswerteschritt gezeichnet werden oder ob die Darstellung zeitgleich am Bauwerk erfolgt. Ergänzend werden die weiteren Möglichkeiten der inhaltlichen Modellierung dargelegt, die durch eine Kombination von Tachymeter und CAD-Programmen eröffnet werden. Die ebenfalls nach dem tachymetrischen Prinzip arbeitenden, scannenden Verfahren und Geräte, die automatisch messend einen unstrukturierten Geometriedatensatz hoher Auflösung bereitstellen, sollen ebenfalls vorgestellt werden. Abschließend wird auf den kombinierten Einsatz von tachymetrischen Messungen mit Theodolit oder CCD-Kamera auf der Grundlage eines räumlichen Vorwärtsschnitts eingegangen.

13 vgl. Abb. 4.3 in Kap. 4.2.1, 'Koordinatensysteme'

14 vgl. Kap. 4.2.1, 'Koordinatensysteme' und Kap. 4.2.3, 'Realisierung von Koordinatensystemen'

5.2.1 Tachymetrische Verfahren mit unmittelbarer Punktsignalisierung am Objekt

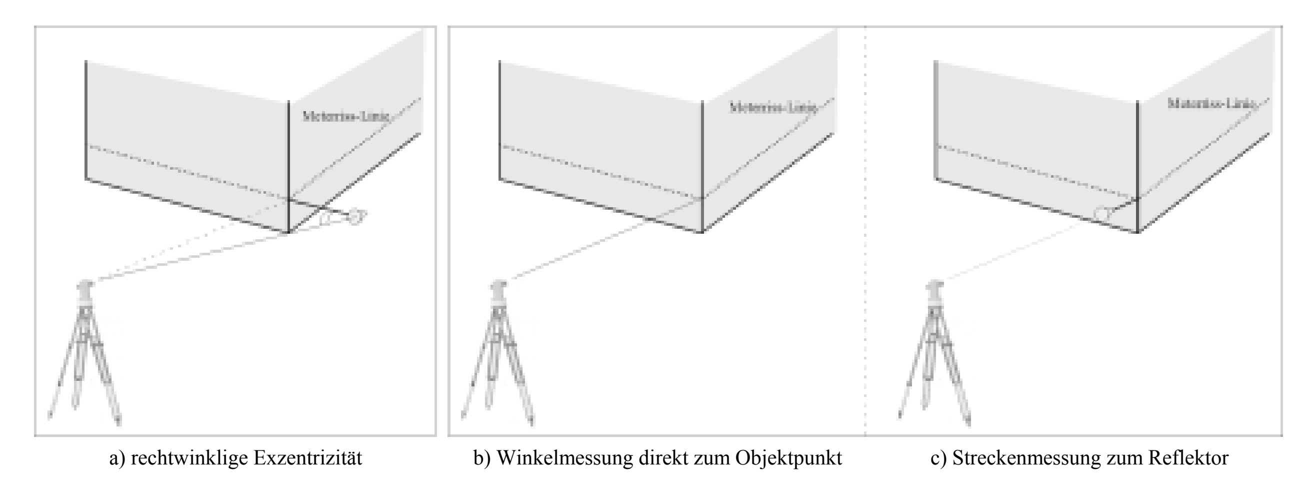
Ist ein Bauaufnahmeobjekt für die Erfassung der geometrischen und inhaltlichen Eigenschaften zugänglich, so kann die Punktauswahl direkt am Bauwerk vorgenommen werden. Hierbei ist während der Messung eine vertiefende Untersuchung des Bauwerks für eine verformungsgerechte Bauaufnahme möglich, wodurch auch nicht durch das Fernrohr sichtbare Attribute erkannt und in ihrer geometrischen Lage bestimmt werden können. Entweder werden die am Bauwerk identifizierten Punkte direkt mit dem Tachymeter eingemessen oder ein verdichtetes Bezugsnetz wird für eine spätere Messung im Handaufmaß eingerichtet. Bei Anwendung jeder der beiden Vorgehensweisen sollten die eingemessenen Punkte am Bauwerk markiert und ihre ungefähre Position am Bauwerk zeichnerisch in einer separat zu führenden Punktskizze festgehalten werden, um für spätere ergänzende Messungen die Punkte eindeutig zuordnen zu können.



Abb. 5.8: Tachymetrische Bauaufnahme mit Reflektor

Für die tachymetrische Aufnahme mit Reflektor sind in den meisten auf dem Markt befindlichen Geräten Softwarekomponenten integriert, die Messungen in den verschiedensten Anordnungen unterstützen. In den Gerätehandbüchern sind die unterschiedlichen Verfahren ausreichend erläutert, sodass eine detaillierte Darstellung hier entfallen kann. Dennoch soll auf zwei Aspekte hingewiesen werden, durch deren Berücksichtigung die Qualität der mit geodätischen Methoden ausgeführten Bauaufnahme deutlich gesteigert werden kann.

Die Softwareprogramme der Tachymeter sehen vielfach exzentrische Messanordnungen vor, bei denen z.B. der Reflektor seitlich im rechten Winkel zum Zielstrahl angeordnet wird (Abb. 5.9a). Hierdurch lassen sich z.B. vom Instrumentenstandpunkt nicht direkt sichtbare Punkte einmessen, indem der exzentrisch angeordnete Reflektor anstelle des Zentrumspunktes angezielt wird.



a) rechtwinklige Exzentrizität b) Winkelmessung direkt zum Objektpunkt c) Streckenmessung zum Reflektor

Abb. 5.9: Exzentrische Messanordnungen

Der in der Skizze markierte rechte Winkel kann in der Regel vom Reflektorhalter nur abgeschätzt werden[15] und ist somit nicht mit höchster Präzision einzurichten. Damit ist die Messgenauigkeit der

[15] Die Messung des rechten Winkels durch die Verwendung eines Winkelprismas oder anderer Verfahren ist für die Vielzahl von im Rahmen einer Bauaufnahme zu bestimmenden Punkten nicht wirtschaftlich durchzuführen.

Punktbestimmung nicht nur von der Leistungsfähigkeit des Tachymeters abhängig, sondern auch vom Einhalten der geometrischen Zwangsbedingung des rechten Winkels. Soll eine Messgenauigkeit von ± 1 cm sichergestellt werden, ist bei einer Länge der Exzentrizität von 10 cm, 50 cm oder 2 m der rechte Winkel mit einer Genauigkeit von ± 6,4 gon, ± 1,3 gon oder ± 0,3 gon einzuhalten. Diese hohen Anforderungen an die Realisierung des rechten Winkels zeigen deutlich, dass eine derartige Messanordnung bei der Punktbestimmung nur in Ausnahmefällen mit geringen Genauigkeitsansprüchen gewählt werden sollte. Für große Arbeitsmaßstäbe (1:50, 1:25 und größer) ist auch der Einsatz der so genannten Gebäudereflektoren nur unter höchster Sorgfalt in der Handhabung durchzuführen; besser sollte jedoch eine Messstrategie angewendet werden, die ohne Gebäudereflektor auskommt (vgl. unten). Ähnliches gilt für die Verwendung von Reflektorstäben, mit denen ein Reflektor in einer bestimmten Höhe über dem eigentlichen Messpunkt anzumessen ist. Obwohl die Reflektorstäbe mit einer Dosenlibelle ausgerüstet sind, ist eine Schiefstellung des Reflektorstabes nicht vollständig zu vermeiden und ruft Fehler in gleicher Größenordnung hervor. Für die typische Anwendung der Reflektorstäbe zur topographischen Aufnahme sind diese Fehlereinflüsse ohne Auswirkung auf die Karten der dort verwendeten Maßstäbe 1:500, 1:1000 oder kleiner. Doch für die Arbeitsmaßstäbe der Bauaufnahme ist deren Auswirkung nicht zu vernachlässigen. Beim Einsatz von so genannten Kanalmessstäben zur Erfassung verdeckter Punkte [KERN, 2001] wird durch Messung von zwei Reflektoren auf einem Messstab die Spitze des Messstabes und damit der verdeckte Punkt berechnet. Durch die Messung zu mindestens zwei Reflektoren wird die räumliche Ausrichtung des Stabes exakt bestimmt, sodass Zwangsbedingungen wie eine rechtwinklige Anordnung zum Zielstrahl nicht eingehalten werden müssen. Dennoch ist mit gleichen Fehlereinflüssen zu rechnen, wenn der Stab während der Messung zu den einzelnen Reflektoren wechselnden räumlichen Ausrichtungen unterliegt. Nur durch eine Fixierung des Stabes z.B. in einem Stativ können diese Einflüsse eliminiert werden.

Die Markierung der Messpunkte direkt auf dem Bauaufnahmeobjekt eröffnet für die Messung unter Verwendung von Reflektoren eine einfache und genaue Punktbestimmung. Wird der am Bauwerk markierte Punkt direkt durch das Fernrohr des Tachymeters angezielt und damit sowohl die Horizontalrichtung wie der Vertikalwinkel mit höchst möglicher Genauigkeit bestimmt (Abb. 5.9b), muss anschließend für die auszuführende Streckenmessung der Reflektor in den Zielstrahl eingeschwenkt werden (Abb. 5.9c). Durch Addition der Reflektorexzentrizität auf die gemessene Schrägentfernung wird die gesuchte Distanz zum eigentlichen Messpunkt berechnet. Da die Verschwenkungen des Reflektors um den Zielstrahl nur eine geringe Auswirkung auf die zu addierende Länge verursachen, kann der Objektpunkt bestmöglich bestimmt werden. Bei einer angestrebten Genauigkeit in der Streckenmessung von ± 1 cm darf der Reflektor einer Länge von 10 cm maximal um einen Winkel von ± 27,4 gon und damit um ± 4,6 cm aus dem Zielstrahl gedreht werden. Für die hier beispielhaft gewählte Reflektorlänge von 10 cm ist der Grenzwert von dem Reflektorhalter sicher einzuhalten und damit der systematische Fehlereinfluss durch eine Verschwenkung des Reflektors während der Messung zu vernachlässigen.

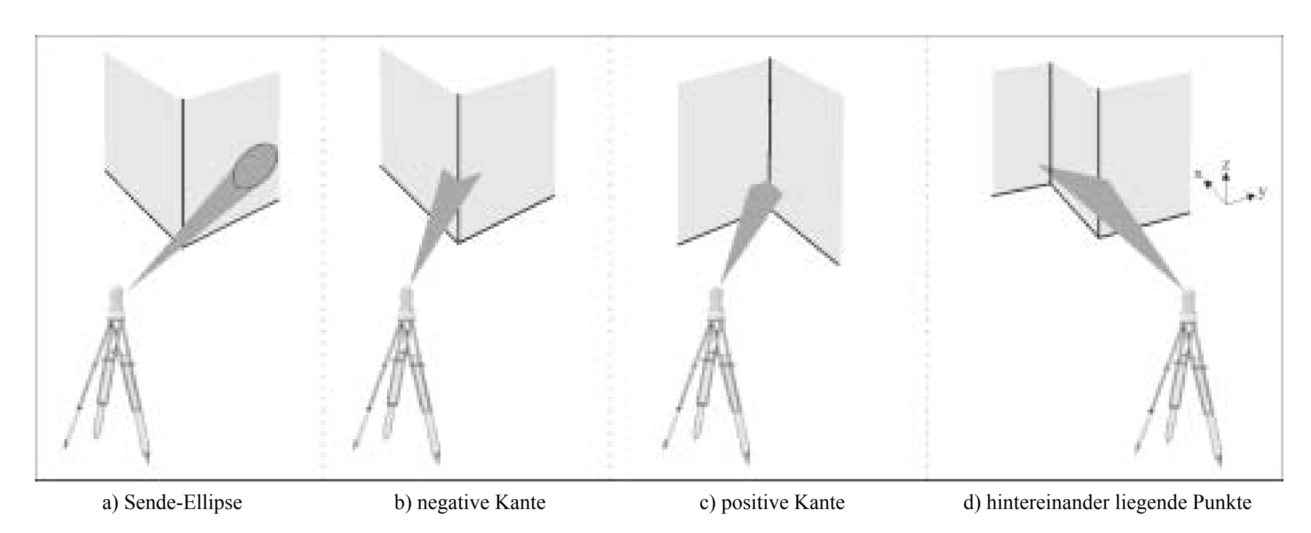
5.2.2 Tachymetrische Verfahren ohne unmittelbare Signalisierungsmöglichkeit am Objekt

Nicht immer sind alle Bereiche eines Bauaufnahmeobjekts für Messungen direkt zugänglich. Vielfach sind Bauwerke so hoch, dass sie weder im Handaufmaß zu erfassen sind noch mit tachymetrischen Verfahren gearbeitet werden kann, die zur Punktsignalisierung am Bauwerk einen Reflektor benötigen. Manche Objekte sind aus Sicherheitsgründen überhaupt nicht zu betreten. Um dennoch eine Vermessung als Grundlage für die Modellbildung in der Bauaufnahme ausführen zu können, sind berührungslos arbeitende Messverfahren einzusetzen. Neben den photogrammetrischen Methoden können tachymetrisch arbeitende Verfahren zur geometrischen Modellierung verwendet werden. Hierbei sind an erster Stelle die Messkonzepte zu nennen, die sich der modernen, reflektorlos arbeitenden Tachymeter bedienen oder eine Kombination aus elektronischem Handentfernungsmesser mit Theodolit anwenden.

Zur Entfernungsmessung wird das vom Gerät ausgesendete Messsignal direkt von der Objektoberfläche reflektiert, ein spezieller Reflektor ist für die Reflexion des Signals nicht notwendig. Nach der Reflexion an der Objektoberfläche muss die Signalstärke noch so groß sein, dass der Entfernungsmesser das empfangene Signal auswerten kann. Abhängig von dem Material, der Struktur und der Neigung der Oberfläche sind Streuverluste während der Reflexion zu verzeichnen, die unter Umständen die Streckenmessung scheitern lassen können.

Sind reflektorlos messende Tachymeter generell wie klassische Tachymeter einzusetzen, so werden durch den Verzicht auf einen Reflektor neue Möglichkeiten eröffnet, die aber besondere Vorgehensweisen bei der Messanordnung erfordern.

Punkte auf stetigen Oberflächen lassen sich in der Regel im Rahmen der vom Hersteller angegebenen Messgenauigkeiten erfassen, wobei Einflüsse durch das Oberflächenmaterial besonders auf die Reichweite zu verzeichnen sind [Runne, 1993]. Wird auf zum Zielstrahl geneigte Oberflächen gemessen, verursacht die ellipsenförmige Ausdehnung des Messstrahles systematische Streckenfehler (Abb. 5.10a). Diese treten insbesondere dann auf, wenn eine Dejustierung zwischen der Sendeachse des Messsignals und der optischen des Tachymeters vorliegt. Beispielsweise kann dieser Einfluss für das nach dem Impulsverfahren arbeitende Rec Elta RL bis zu 2 cm annehmen und ist nur durch Messung in zwei Lagen zu eliminieren [Köhler, 1994]. Besonders während der Messung von sprunghaften Änderungen der Oberfläche wie z.B. Ecken oder Kanten können sowohl systematische (Abb. 5.10b, 5.10c) wie grobe Fehler (Abb. 5.10d) auftreten.



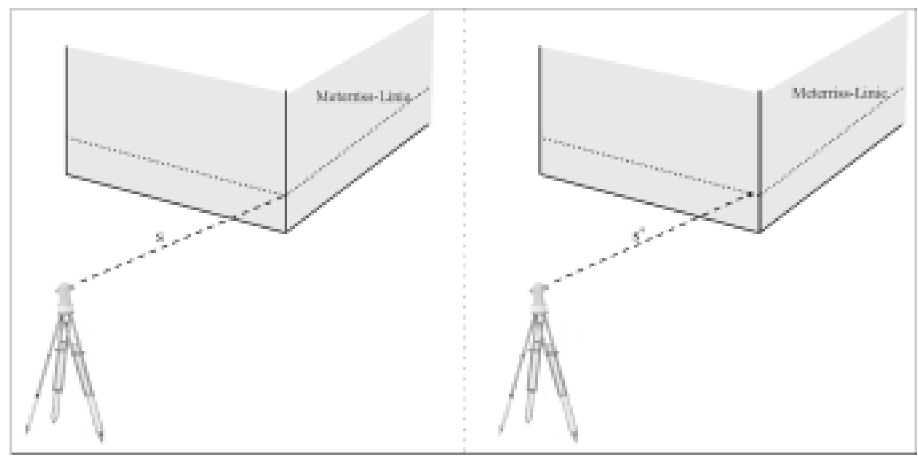
a) Sende-Ellipse b) negative Kante c) positive Kante d) hintereinander liegende Punkte

Abb. 5.10: Reflexion des Messsignals reflektorlos arbeitender Tachymeter

Durch die flächenhafte Ausdehnung des Messsignals (Abb. 5.10) wird nicht die Strecke direkt zur angezielten Ecke bestimmt, sondern der auf der gesamten Fläche reflektierte Messstrahl wird ausgewertet. Wie den Abbildungen 5.10b und 5.10c zu entnehmen ist, werden die Strecke zu negativen Kanten zu lang ermittelt und die zu positiven Kanten zu kurz [Köhler, 1994]. Da für die reflektorlose Streckenmessung sowohl Impulsmessverfahren wie Phasenvergleichsverfahren angewendet werden, sind unterschiedliche Auswirkung für das Ergebnis der Messung je nach Messverfahren und Softwareprogrammen zu erwarten. Die Auswirkungen von Messungen auf Kanten oder geneigte Flächen sind bei nach dem Impulsmessverfahren arbeitenden Geräten in der Vergangenheit untersucht und nachgewiesen worden [Kehne, 1989; Runne, 1993; Köhler, 1994]. Nach F. Kern [Kern, 2001] sind beim Impulsmessverfahren größere Einflüsse zu beobachten als beim Phasenvergleichsverfahren, bei dem die durch Kanten verursachten Fehlereinflüsse innerhalb der Messgenauigkeit der Geräte liegen[16]. Um diesen systematischen Fehlereinfluss von vornherein zu vermeiden, lassen sich zwei Strategien anwenden. Zum einen kann bei vielen Tachymetern die Streckenmessung von der Winkelmessung getrennt ausgelöst werden. Dadurch wird ermöglicht, dass die Ecke direkt anzuzielen ist, die Winkelmessung auf den Eckpunkt ausgelöst wird und anschließend die Streckenmessung ein wenig neben der Ecke vorgenommen wird (Abb. 5.11).

Da die Strecke direkt neben der Ecke je nach Einfallswinkel des Messstrahles nur gering von der gesuchten Entfernung abweicht ($s \approx s'$) und der hierdurch verursachte Messfehler vielfach innerhalb der geforderten Streckenmessgenauigkeit liegt, kann durch diese Art der Entfernungsmessung ein Fehlereinfluss von Ecken und Kanten auf das Ergebnis vermieden werden.

[16] Untersucht wurde das Lasermeter Disto GSI der Firma Leica; prinzipiell sind auch bei nach dem Phasenvergleichsverfahren arbeitenden Geräten (wie z.B. das Disto und die reflektorlosen Tachymeter der Firma Leica) größere, von Kanten verursachte Fehler nicht auszuschließen.



a) Winkelmessung direkt zum Objektpunkt b) exzentrische Streckenmessung

Abb. 5.11: Getrennte Messung von Richtungen und Strecken bei Ecken und Kanten

Werden die Messergebnisse in einem CAD-System weiterverarbeitet, besteht weiterhin die Möglichkeit, Messpunkte mit ausreichend Abstand zu den Kanten direkt auf den Flächen zu messen und anschließend die Kanten durch Schnittberechnungen von benachbarten Flächen zu berechnen (vgl. Abb. 5.14). Diese Methode ist nur dann einzusetzen, wenn es sich bei den Flächen um mathematisch zu beschreibende Oberflächen handelt, deren berechneter Schnittpunkt tatsächlich die zu bestimmende Kante mit der notwendigen Genauigkeit repräsentiert.

Neben den durch Kanten verursachten systematischen Fehlereinflüssen sind auch grobe Fehler an Ecken und Kanten zu beobachten. Diese treten immer dann auf, wenn nicht die Strecke zur anvisierten Kante gemessen wird, sondern der Messstrahl an einem vor oder hinter dem zu messenden Punkt liegenden Objekt reflektiert wird (Abb. 5.10d). Sicher lassen sich diese groben Fehler aber nur eliminieren, wenn die tachymetrischen Daten direkt in einem CAD-Programm dargestellt werden und so eine Aussage über die Plausibilität der Messung sofort am Bildschirm getroffen werden kann[17]. Eine Analyse über grobe Fehler kann auch nach Abschluss der vor Ort ausgeführten Geometrieerfassung vorgenommen werden, indem z.B. alle Punkte einer Wand innerhalb einer bestimmten Toleranz auf ihre Zugehörigkeit zur Wandebene getestet werden[18].

Besonders bei niedrigen Ansprüchen an die Genauigkeit kann auf die Möglichkeiten der Schnittberechnung mit Bezugsflächen zurückgegriffen werden. Hierbei wird die das Objekt repräsentierende Bezugsfläche durch tachymetrische Messungen bestimmt. Der allgemeine Vorgang der Abbildung auf Bezugsflächen ist in Kapitel 4.2.2, 'Abbildung auf Bezugsflächen' beschrieben worden. Dort wurde als Beispiel für eine vereinfachte Objekterfassung unter Verwendung von Schnittberechnungen mit Bezugskörpern eine lotrecht stehenden Ebene behandelt (Abb. 4.8). Durch die Verwendung von reflektorlos arbeitenden Tachymetern können aber auch beliebig im Raum liegenden Bezugsflächen (in der Regel Ebenen) in ihrer Geometrie erfasst und als Bezugsfläche für die Schnittberechnung mit der durch Vertikal- und Horizontalrichtung definierten Zielgeraden verwendet werden. Mit dieser Strategie lassen sich auch stark gegliederte Bauwerke wirtschaftlich erfassen, da oftmals größere Bereiche einer gemeinsamen Ebene zugeordnet werden können. Beispielsweise kann die Ansicht einer sonst unzugänglichen Dachgaube durch dieses Vorgehen einfach erstellt werden, indem für jede Gaube wenige Punkte zur Ebenendefinition mit reflektorloser Messung bestimmt werden und die feinteilige Struktur durch ausschließliche Winkelmessung aufgenommen wird.

Die Messung reflektorlos arbeitender Entfernungsmesser wird generell durch einen sichtbaren Laserstrahl markiert. Entweder wird hierfür eine im sichtbaren Bereich liegende Trägerwelle zur Entfernungsmessung benutzt [z.B. LEICA, 2000] oder ein separater Signalisierungslaser wird zur Punktmarkierung eingesetzt [z.B. HUEP, 1995]. Die Kennzeichnung des gemessenen Punktes durch einen sichtbaren Laserpunkt

[17] vgl. Kap. 5.2.3, 'Online-Darstellung tachymetrischer Messungen'

[18] vgl. Fußnote 29

stellt für den praktischen Einsatz reflektorloser Entfernungsmessung eine wesentliche Erleichterung dar, sofern die Lichtverhältnisse die Sichtbarkeit des Laserpunktes nicht vereiteln[19]. Wird parallel zur Punktmessung eine Punktskizze geführt, so ermöglicht erst die Signalisierung eine Verständigung zwischen allen Beteiligten über den zu messenden Punkt. Dies ist besonders dann wichtig, wenn die Bauaufnahme in interdisziplinär zusammengesetzten Bauaufnahmegruppen ausgeführt wird[20].

Während einer Bauaufnahme kann es immer wieder vorkommen, dass Objektpunkte nicht mehr direkt durch das Fernrohr des Messgerätes zu beobachten sind, weil die Sicht zu steil nach oben oder unten verläuft. Trotzdem lassen sich die Punkte mit dem Tachymeter einstellen, wenn entweder ein Steilsichtprisma verwendet wird oder der Zielpunkt durch den Laserstrahl sichtbar gemacht wird und hierdurch auf die Visur durch das Fernrohr verzichtet werden kann. Da bei dieser Arbeitsweise keine Kontrollmöglichkeit besteht, ob der am Objekt sichtbare Laserpunkt mit dem tatsächlich im Fernrohr eingestellten Messpunkt übereinstimmt, ist die Justierung des Laserstrahls besonders sorgfältig vorzunehmen und regelmäßig zu kontrollieren.

In Kombination mit einer motorisierten Steuerung ermöglicht ein Signalisierungslaser den Einsatz tachymetrischer Verfahren auch dort, wo durch unsichere Aufstellungsbedingungen unter normalen Messverhältnissen keine Messung möglich wäre [Mobi, 2000]. Dies ist immer dann der Fall, wenn z.B. ein schwankender Holzboden während der Messung nicht betreten werden kann. Hierbei erfolgt nach Aufstellen des Tachymeters die Messung durch eine Fernsteuerung des Gerätes, die Punktauswahl wird dann ausschließlich anhand des sichtbaren Signalisierungslasers vorgenommen.

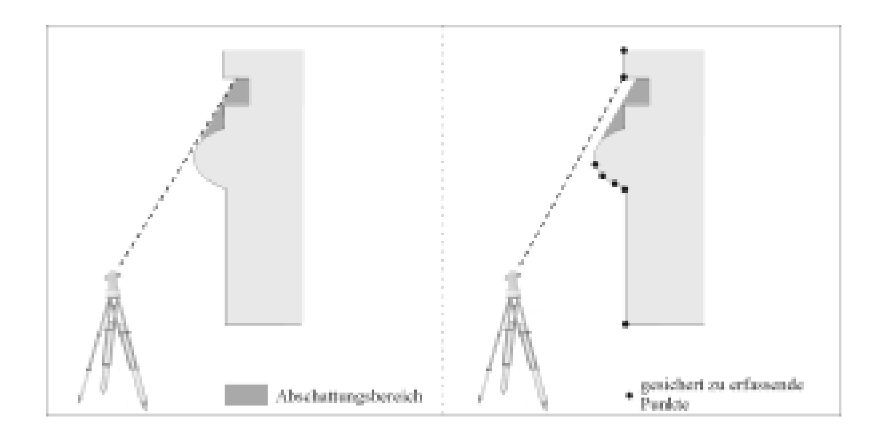


Abb. 5.12: Abschattungsbereiche bei reflektorloser Messung

Neben den instrumentenbedingten Einflüssen auf die Geometrieerfassung unter Einsatz reflektorloser Tachymeter sind für eine erfolgreiche Anwendung dieser Methode auch die Auswirkungen zu berücksichtigen, die im Zusammenhang mit der Punktauswahl am Objekt auftreten. Generell gilt hier wie bei allen Verfahren, dass die Festlegung der das Objekt repräsentierenden Messpunkte aus fachlichen Gesichtspunkten bezogen auf den Modellierungszweck erfolgen muss. Diese Auswahl ist aber auch mit dem notwendigen Fachwissen nicht immer zufriedenstellend zu lösen. Insbesondere bei steilen Sichten vom Instrumentenstandpunkt auf das Objekt ist es aus der Distanz nicht immer leicht zu erkennen, welcher Punkt für die Modellierung wichtig ist und somit erfasst werden soll. Zum einen treten bei in der Tiefe gegliederten Objekten Abschattungsbereiche auf, die überhaupt nicht zu vermessen sind (Abb. 5.12, links). Zum anderen bewirkt die große Entfernung zum Objekt eine schlechtere Erkennbarkeit von kleineren, aber unter Umständen wichtigen Objektdetails. Verstärkt wird dieser Effekt durch die perspektivischen Einflüsse, die eine Interpretation von hochliegenden Objektbereichen sehr erschweren. Mitunter ist es völlig unmöglich, z.B. die wichtigen Punkte für einen Erfassung in einer vertikalen Ansichtsebene auszuwählen. In diesen Fällen sollte zur gesicherten Erfassung auf das Konzept des verdichteten Bezugsnetzes zurückgegriffen werden. Hierbei sind alle die Punkte zu messen, die zweifelsfrei erkannt, anvisiert und vermessen werden können (Abb. 5.12, rechts). Die weitere Ausarbeitung des Bauaufnahmeplans kann darauf aufbauen im Handaufmaß oder durch portraitierende Ergänzungen erfolgen. Ist das Bezugs-

[19] Bei direkter Sonneneinstrahlung ist der Laserpunkt überhaupt nicht zu sehen, für Messungen im Außenbereich von Gebäuden sollte generell bedeckter Himmel vorherrschen.

[20] vgl. Kap. 6.2, 'Praktische Umsetzung einer methodenkombinierenden Bauaufnahmestrategie'

netz dicht genug angelegt worden, ist es leicht möglich, auf der Grundlage der geometrisch hoch genauen geodätischen Punktbestimmung einen inhaltlich wie geometrisch qualitativ hochwertigen Bauaufnahmeplan zu erstellen.

5.2.3 Online-Darstellung tachymetrischer Messungen

Alle mit elektrooptischen Tachymetern ausgeführten Bauaufnahmemethoden führen im Ergebnis zu einer digitalen Form der Geometriemodellierung. Durch den Einsatz der tachymetrischen Verfahren in Kombination mit digitalen Speichermedien wird ein automatischer Datenfluss von der Messung bis zu Darstellung ermöglicht, wodurch das Nutzungspotenzial von Bauaufnahmen für viele Anwendungen verbessert werden kann.

Im einfachsten Fall erfolgt die Speicherung der Geometriedaten direkt im Tachymeter oder auf einer externen Speichereinheit, sodass die Daten im Anschluss an die Messung auf einen Computer übertragen werden können und in einem CAD-Programm darzustellen sind. Je nach Anwendung werden die Daten im CAD-Programm weiterverarbeitet, an andere Auswertesoftware weitergegeben oder für den Endnutzer ausgedruckt. Durch den konsequenten digitalen Datenfluss wird nicht nur eine höhere Effizienz erreicht, es können darüber hinaus Einbußen an Genauigkeit und Zuverlässigkeit während der weiteren Nutzung vermieden werden. Im Vergleich zu traditionellen Zeichnungen sei hier nur die Beständigkeit der Geometrieinformation in Bezug auf ihre Maßhaltigkeit genannt. Manuell erstellte Pläne unterliegen sowohl auf dem Medium Papier wie auf Folie Verzug durch Luftfeuchtigkeit und Temperatur, die entweder durch eine konsequente Vermaßung aller Elemente oder durch das Verwenden von Koordinatengittern auf den Plänen erfasst und bei der Auswertung berücksichtigt werden können. Aus den gespeicherten Geometriedaten dagegen sind die geometrischen Informationen jederzeit aufs Neue abzuleiten, ohne zeitlich bedingte Einflüsse auf ihre Maßhaltigkeit[21].

Die der Messung nachgeordnete digitale Weiterverarbeitung der Bauaufnahme bedingt eine Trennung in Messung und Darstellung, wodurch eine sofortige Kontrollmöglichkeiten während der tachymetrischen Bauaufnahme entfällt. Die Qualität der Geometriemodellierung lässt sich erst wesentlich später nach der erfolgten Visualisierung der Messwerte in einer CAD-Zeichnung und dem anschließenden Ausdruck beurteilen. Damit kann im Angesicht des Bauwerks keine Kontrolle auf grobe Fehler oder Lücken in der Geometriebeschreibung geleistet werden. Für eine Kontrolle auf Vollständigkeit ist das Führen einer aufwändigen Punktskizze unerlässlich, auch wenn hierdurch keine absolute Sicherheit gegeben ist. Viel schwieriger lassen sich grobe Fehler – verursacht durch Fehlmessungen oder Fehlinterpretationen – während einer tachymetrischen Bauaufnahme mit elektronischem Datenfluss aufdecken. Eine Hilfe zur Beurteilung ist hierbei durch eine Prüfung aller im Display des Messinstrumentes angezeigten Messwerte auf ihre Plausibilität gegeben. Diese Überprüfung kann bei bauwerksparallelen Koordinatensystemen leichter vorgenommen werden, weil sich z.B. die Koordinaten von Punkten auf einer Mauer nur im y- und z-Wert ändern sollten, während die senkrecht zur Mauer verlaufende x-Koordinaten nur sehr kleinen Änderungen unterworfen ist. Tritt eine sprunghafte Änderung der x-Koordinate auf, kann davon ausgegangen werden, dass eine Fehlmessung vorliegt (vgl. Abb. 5.10d).

Eine umfassende Kontrolle ist dagegen nur sicherzustellen, wenn die Geometriemodellierung online in einem CAD-Programm verarbeitet wird und somit während der Messung auf einem Bildschirm dargestellt werden kann [HEILIGER, 1995a; KORTE, 1995]. Hier lassen sich durch die visuelle Kontrolle am Bildschirm grobe Fehler in den meisten Fällen leicht aufdecken.



Abb. 5.13: Online-Darstellung während der Messung

[21] Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass auch digitale Datenarchive wie konventionelle Planarchive der Wartung und Pflege bedürfen [siehe hierzu GSCHWIND, GÜNZL, 1997].

Wird ein Tachymeter in Online-Verbindung mit einem CAD-System eingesetzt, kommt dem Messinstrument die Funktion der normalen Computer-Maus oder des digitalen Zeichenstifts zu. Das Tachymeter ist gleichberechtigtes Eingabegerät, mit der Konsequenz, dass auch während einer tachymetrischen Messung alle sonstigen, den Zeichner unterstützenden Funktionen des CAD-Systems genutzt werden können. Genannt seien hier nur beispielhaft die konstruktiven Hilfen wie Geradenschnitt oder die Prototyp-Clone-Methode [KERN, 2001][22].

Diese Möglichkeit der Datenverarbeitung ist in vielen auf den Markt befindlichen CAD-Programmen für die Bauaufnahme integriert [CASOB, 2000; MOBI, 2000; TACHYCAD, 2000] und wird mittlerweile standardmäßig eingesetzt. Ebenso befinden sich die für derartige Anwendungen notwendigen feldtauglichen Computer in einem Entwicklungsstadium, das die Verwendung der gegen Umgebungseinflüsse ansonsten sensiblen Rechnertechnik auch unter den oftmals schwierigen Bedingungen der Bauaufnahme ermöglicht [z.B. HUSKY, 2001; MICROPORT, 2001].

Vielfach lassen sich in den CAD-Programmen, die speziell für die Bauaufnahme entwickelt wurden, ergänzende Messungen im Handaufmaß integrieren. Hierfür muss der tachymetrische Messvorgang nicht unterbrochen werden, sodass Tachymetrie und Handaufmaß gleichberechtigt nebeneinander eingesetzt werden können. Damit können auf sehr effektive Art und Weise die Vorteile tachymetrischer Verfahren mit denen der Arbeitsweise des Handaufmaßes zu einem leistungsfähigen Erfassungs- und Darstellungswerkzeug verbunden werden [TACHYCAD, 2000].

Neben der punkt- oder linienhaften Geometriemodellierung durch die Methoden von Tachymetrie und Handaufmaß können innerhalb der Softwarepakete ergänzend Bilddaten als Rastergrafik in eine Zeichnung eingefügt werden [z.B. MOBI, 2000]. Dies ist besonders dann von Vorteil, wenn Teilbereiche der Objektoberfläche durch entzerrte Messbilder zu modellieren sind[23].

Eine besondere Bedeutung kommt der tachymetrischen Aufnahme zu, wenn zeitgleich mit der Geometriemodellierung weitere inhaltliche Parameter erfasst werden sollen. Durch die Verknüpfung der CAD-Geometriedaten mit einer Datenbank wird die Erweiterung des Modells zu einem Informationssystem vorgenommen, in dem über die reine Geometrie hinausgehende Objekteigenschaften gespeichert, verwaltet und ausgewertet werden können. Hierbei lassen sich z.B. ergänzende Textinformationen, detaillierte Maßangaben oder auch vorhandene Fotos den Geometrieobjekten zuordnen. Durch die Entwicklung der Geographischen Informationssysteme (GIS) für den topographischen Bereich der Vermessungsanwendungen und durch den verstärkten Einsatz von Gebäudeinformationssystemen für die Gebäudeverwaltung stehen für zweidimensionale Fragestellungen leistungsfähige Softwarepakete zur Verwaltung von Geometriedaten und Sachinformationen zur Verfügung. Ebenso sehen auch einige CAD-Programme zur Erfassung von geometrischen Daten im Feldeinsatz die sofortige Integration von Sachdaten vor [z.B. ARCHÄOCAD, 2001; MAP500, 2001][24].

Nach Abschluss der Modellierung werden die Bauaufnahmeergebnisse an den Nutzer zur weiteren Auswertung über eine definierte Datenschnittstelle übergeben (z.B. DXF). Vielfach wird auch die nachfolgende Verarbeitung der Daten in einem allgemein üblichen CAD-Programm vorgenommen, sodass bereits während der Bauaufnahme die Erfassung unter Berücksichtigung der weiteren CAD-Bearbeitung erfolgen sollte und Erfordernisse der späteren Daten- und Programmstruktur zu berücksichtigen sind. Dies ist besonders einfach zu gewährleisten, wenn das Programm zur Bauaufnahme wie das Programm zu weiteren Verwendung auf eine gemeinsame, allgemeine CAD-Software zurückgreifen. Diese Möglichkeit ist z.B. sowohl in AutoCAD als auch in MicroStation vorgesehen, bei denen sich um das eigentliche Kernprogramm ergänzende Module für die verschiedenen Spezialanwendungen gruppieren [AUTODESK, 2001; BENTLEY, 2001].

[22] vgl. Kap. 4.3.2, 'Strukturierung und Darstellung unter Verwendung von CAD-Programmen'

[23] Auf die Probleme der Abbildung auf Entzerrungsebenen wurde schon in Kap. 4.2.2, 'Abbildung auf Bezugsflächen', hingewiesen; vgl. auch Kap. 5.3.2, 'Einbildauswertung'.

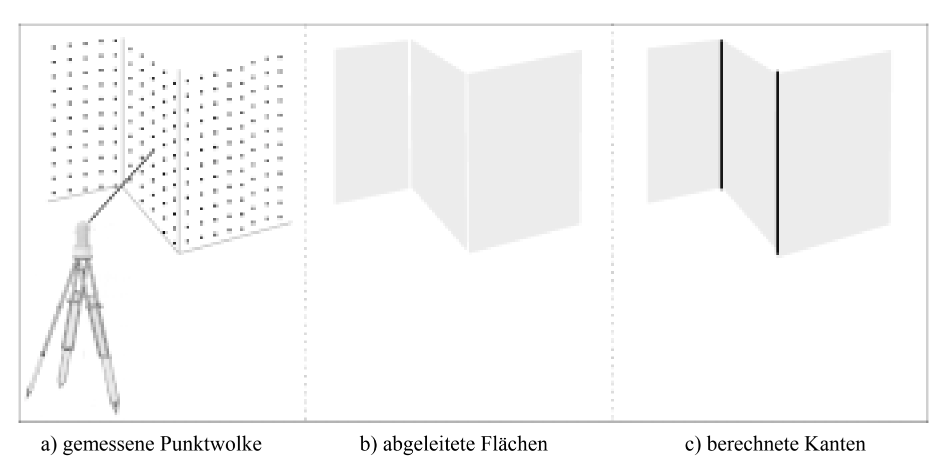
[24] vgl. Kap. 4.3.2, 'Strukturierung und Darstellung unter Verwendung von CAD-Programmen', Kap. 4.3.4, 'Datenstrukturierung und Präsentation in Geographischen Informationssystemen (GIS)'

5.2.4 Scannende tachymetrische Verfahren

Neben den tachymetrischen Verfahren, die zur Erfassung einzelner Punkte eingesetzt werden, müssen die ebenfalls auf dem tachymetrischen Prinzip basierenden so genannten scannenden Messverfahren gesondert betrachtet werden. Wesentliche Eigenschaft der im Scan-Modus arbeitenden Geräte ist eine nahezu kontinuierlich ausgeführte automatische Messung, die einen sehr dichten, aber nicht strukturierten Geometriedatensatz zur Modellierung der Objektoberfläche bereitstellt. Alle gemessenen Punkte liegen dabei auf der Bauwerksoberfläche, die Erfassung wird aber nicht nach inhaltlichen Gesichtspunkten ausgeführt, mit der Folge, dass die wichtigen Elemente von Bauwerken (Kanten, Ecken, etc.) unter Umständen trotz der hohen Punktdichte nicht erfasst werden können (Abb. 5.14a).

Grundsätzlich wird bei allen Verfahren die Ausrichtung des Messstrahls sowohl in Horizontal- wie in Vertikalrichtung verändert und damit das Objekt meist mäanderförmig abgetastet. Durch die simultan ausgeführte Entfernungsmessung können nach dem Polarverfahren dreidimensionale Punktkoordinaten berechnet werden. Diese Art der Scanner wird auch als 3D-Scanner bezeichnet. Die Ausdehnung des Messbereiches in Horizontal- und Vertikalrichtung ist je nach Gerätetyp unterschiedlich groß, wie auch die Schrittweite der Scannersteuerung verschieden sein kann. Da die Schrittweite der Messgeräte über die Veränderung der Horizontal- und Vertikalwinkel am Gerät definiert wird, variiert mit der Entfernung des Messgerätes vom zu scannenden Objekt die Auflösung des einzelnen Messpunktes auf der Objektoberfläche. Durch diese Auflösung wie durch die Genauigkeit der Winkel- und Streckenmessung wird das Genauigkeitspotenzial scannender Messverfahren bestimmt.

Als Geräte für eine scannende Bauwerkserfassung können sowohl konventionelle reflektorlos arbeitende Tachymeter wie auch spezielle Laserscanner[25] eingesetzt werden.



a) gemessene Punktwolke b) abgeleitete Flächen c) berechnete Kanten

Abb. 5.14: Scannende Messverfahren

Reflektorlose Tachymeter müssen mit einem Schrittmotor ausgerüstet sein und über eine Softwareschnittstelle zur Steuerung des Messvorgangs verfügen. Während in den vergangenen Jahren Spezialentwicklungen aus Forschungsprojekten hervorgegangen sind [BUCHMANN, 1996], werden mittlerweile leistungsfähige motorisierte reflektorlose Tachymeter von verschiedenen Herstellen angeboten [LEICA, 2000; GEODIMETER, 2000]. In Kombination mit scannenden Tachymetern können CCD-Kameras eingesetzt werden, um einerseits über die Kamera das Tachymeter zu steuern, andererseits auf Grundlage der tachymetrisch bestimmten Punkte photogrammetrische Auswertungen, insbesondere Entzerrungen, durchführen zu können [SCHERER, JURETZKO, 2000].

Sind die motorisierten reflektorlosen Tachymeter in Handhabung, Arbeitsweise und Genauigkeitspotenzial mit konventionellen Tachymetern vergleichbar, so haben sich die so genannten Laserscanner zu einem eigenständigen Instrumententyp entwickelt. Alle auf dem Markt befindlichen Geräte [Z.B. CALLIDUS,

[25] Hiervon sind scannende Zeilen- oder Flächenkameras zu unterscheiden, die als Originalergebnis des Scanvorgangs keine Koordinaten erzeugen, sondern Grauwertbilder.

2000; CYRA, 2000; MDL, 2000; RIEGL, 2000] verwenden für die Messung der Schrägentfernung stark gebündeltes Laserlicht, mit dem über gegeneinander verschwenkbare Spiegelsysteme das Abtasten des Messobjekts erfolgt. Die Genauigkeit der Laserscanner wird durch die kleinste Schrittweite beim Abtasten in Horizontal- und Vertikalrichtung sowie durch die Genauigkeit der Streckenmessung begrenzt. Auf die unterschiedlichen gerätespezifischen Lösungen zur Schrittweitensteuerung und Entfernungsmessung soll hier nicht weiter eingegangen werden, für die Handhabung bleibt aber festzuhalten, dass mit einer Steigerung der Ausdehnung des Scanbereichs[26] und der maximalen Messentfernung generell die Genauigkeit des Scanners sinkt. In Abhängigkeit von der Aufnahmeentfernung sind Werte von wenigen Millimetern bis zu Dezimetern zu erwarten [NIEMEIER, KERN, 2001]. Bei den so genannten 4D-Scannern wird ergänzend die Intensität des vom Objekt reflektierten Lasersignals untersucht und für die Berechnung eines Grauwertbildes verwendet [RIEGL, 2000; WEHR, 2001]. Dadurch steht neben der geometrischen Objektbeschreibung auch eine quasi fotografische Darstellung zur Verfügung. Eine Kombination mit einer parallel zur Messung arbeitenden Videokamera ist prinzipiell bei allen Systemen möglich, sodass auch hier eine photogrammetrische Auswertung angeschlossen werden kann[27].

Durch die automatische Arbeitsweise eines Laserscanners wird die Messung nicht an den das Bauwerk repräsentierenden Oberflächenpunkten vorgenommen, sondern eine gleichmäßig verteilte Anzahl gleichwertiger Punkte wird am Objekt erfasst. Diese das Bauwerk diskretisierende Beschreibung der Objektgeometrie in Form von unstrukturierten Punktwolken (Abb. 5.14a) erfordert für die weitere Auswertung der gescannten Daten eine umfangreiche mathematische Modellierung [NIEMEIER, KERN, 2001]. Um aus den einzelnen Punkten des Geometriedatensatzes auf die wesentlichen Parameter des Bauwerks wie z.B. Ecken und Kanten schließen zu können, muss aus der punktbezogenen eine flächenbezogen Modellierung abgeleitet werden. Dabei werden aus den Koordinaten benachbarter Punkte Teilflächen berechnet, die wiederum zu übergeordneten Flächen vereinigt werden (Abb. 5.14b). Die Entscheidung, inwieweit Teilflächen zu einer Gesamtfläche zusammengefasst werden, wird meist durch eine Untersuchung der Flächenneigungen im Raum getroffen. Im einfachsten Fall werden hierbei ebene Flächen entstehen; je nach Beschaffenheit der Bauwerksoberflächen können aber auch gekrümmte Flächen oder Freiformflächen modelliert werden, sodass verschiedenartig gekrümmte oder deformierte Bauwerksbereiche erfasst werden können. Abschließend müssen benachbarte Flächen gegenseitig zum Schnitt gebracht werden, um die Bauwerkskanten ableiten und ein dreidimensionales Geometriemodell aufbauen zu können (Abb. 5.14c). Für die Qualität der Kantenermittlung ist entscheidend, inwieweit die aus den Punkten abgeleiteten Flächen die Originaloberflächen, und damit auch die daraus berechneten Kanten und Ecken, repräsentieren.

Wird das Scanverfahren in komplexeren Bauwerken ausgeführt, sind die einzelnen, von einem Standpunkt ausgeführten Messungen in ein gemeinsames Koordinatensystem zu überführen. Für die hierbei zu leistende Koordinatentransformation sind Punkte oder Flächen zu verwenden, die in mindestens zwei Datensätzen erfasst worden sind [NIEMEIER, KERN, 2001]. Ergänzend können Zwangsbedingungen wie Parallelität und Rechtwinkligkeit von Flächen zur Kombination aller Teilflächen in einem Gesamtgeometriemodell genutzt werden. In den verschiedenen Softwarepaketen wird die mathematische Objektmodellierung unterschiedlich gelöst, im Ergebnis entsteht aber immer eine CAD-Datei, die für weitergehende Untersuchungen wie z.B. die Berechnung von Schnitten oder eine umfassende 3D-Visualisierung genutzt werden kann.

5.2.5 Tachymetrische Messung in Kombination mit räumlichem Vorwärtsschnitt

Das Verfahren des räumlichen Vorwärtsschnitts mit zwei Theodoliten (Abb. 5.15) hat bis zur Etablierung von reflektorlos arbeitenden Tachymetern eine wichtige Bedeutung innegehabt. Immer dann, wenn Punkte nicht direkt zugänglich sind, kann eine Punktbestimmung auch nach dem Prinzip des Vorwärtseinschneidens ausgeführt werden[28].

[26] Einige Scanner können über den gesamten Horizont von 400 gon scannen, in der Vertikalen werden bis zu 170 gon Scanbereich erzielt [NIEMEIER, KERN, 2001].

[27] vgl. Kap. 5.3.2.4, 'Differentielle Entzerrung'

[28] Zur Berechnung eines räumlichen Vorwärtsschnitts sind die Formeln des ebenen Vorwärtsschnitts in Verbindung mit denen der trigonometrischen Höhenübertragung anzuwenden; vgl. hierzu auch [RESNIK, BILL, 2000; WITTE, SCHMIDT, 1991]. Hauptanwendungsgebiet des räumlichen Vorwärtsschnitt sind nach wie vor die so genannten Industriemesssysteme.

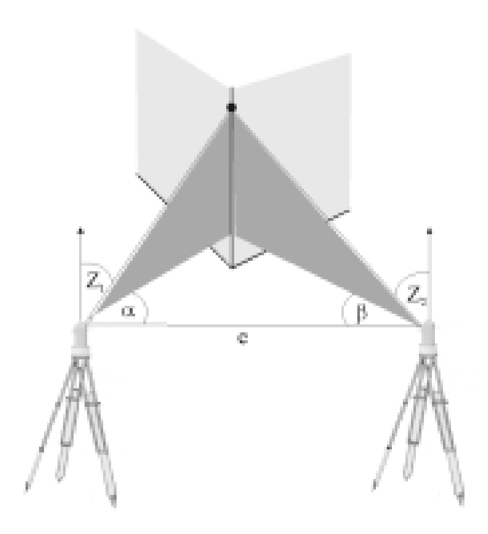


Abb. 5.15: Räumlicher Vorwärtsschnitt (vereinfacht)

Alle tachymetrischen Messverfahren ermöglichen eine wirtschaftliche und schnelle Punktbestimmung, die aber unmittelbar weder in ihrer Genauigkeit noch in der Zuverlässigkeit beurteilt werden kann. Das Prinzip des polaren Anhängens arbeitet ohne Überbestimmungen, sodass keine Kontrollmöglichkeit der einzelnen Punktberechnung gegeben ist[29]. Eine Kontrolle auf Zuverlässigkeit lässt sich nur erreichen, wenn derselbe Messpunkt von einem zweiten, unabhängigen Instrument erfasst wird. Durch die Signalisierung der reflektorlosen Messungen in Form eines Laserpunktes ist eine Beobachtung von einem zweiten Instrumentenstandpunkt prinzipiell möglich. Hierfür können sowohl Theodolite, Tachymeter oder auch digitale CCD-Kameras eingesetzt werden. Konventionelle Theodolite und Tachymeter müssen von einem zusätzlichen Beobachter bedient werden, unter Verwendung einer Digitalkamera kann die Messung dagegen automatisch ausgeführt werden. Der Laserpunkt wird in dem Kamerabild durch automatische Bildverarbeitungsalgorithmen lokalisiert und in seinen Bildkoordinaten bestimmt. Ausgehend vom Kamerastandpunkt wird aus den Bildkoordinaten eine räumliche Gerade berechnet, die wiederum nach den Formeln des räumlichen Vorwärtsschnitts mit den Messungen des Tachymeters zum Schnitt gebracht werden kann. Durch diese zweite, unabhängige Punktbestimmung können die Koordinaten des polar bestimmten Punktes nicht nur in ihrer Zuverlässigkeit in Bezug auf grobe Fehler beurteilt werden, sondern darüber hinaus wird durch die zusätzliche Messung eine Verbesserung der Punktlagegenauigkeit erreicht, die im Rahmen einer ausgleichenden Auswertung berücksichtigt werden muss.

5.2.6 Anwendungspotenziale tachymetrischer Verfahren

Die tachymetrischen Messmethoden können in Abhängigkeit von der durch den Fachanwender zu definierenden Genauigkeitsanforderung prinzipiell in den unterschiedlichen Gebieten der Bauaufnahme eingesetzt werden. Jedoch sind die tachymetrischen Verfahren bereits bei der Konzeption des Bauaufnahmeprojekts bezüglich den in der 'Allgemeinen Modelltheorie' formulierten Randbedingungen zu untersuchen. Dabei sollte besonders berücksichtigt werden, dass durch die Geometrieerfassung nach dem tachymetrischen Prinzip generell ein ergänzender Schritt – meist unter Beteiligung weiterer Personen – in die Modellierungsabfolge eingefügt wird. In der Regel ist schon durch den Einsatz tachymetrischer Instrumente mit einem Verlust an inhaltlicher Aussage zu rechnen. Das hohe Genauigkeitspotenzial tachymetrischer Instrumente lässt die Tachymetrie als Universalwerkzeug für alle Anwendungen erscheinen. Dabei wird vielfach nicht berücksichtigt, dass die zu erreichende geometrische wie inhaltliche Genauigkeit nicht allein vom Messinstrument abhängt. Entscheidend ist, dass mit der Messmethode die durch den Arbeitsmaßstab ausgedrückten Anforderungen eingehalten werden können.

Bei besonders klein gegliederten, engen und verwinkelten Bauwerken sind vor dem Einsatz tachymetrischer Verfahren Wirtschaftlichkeitsüberlegungen anzustellen. Mitunter müssen bei derartig struktu-

[29] Lediglich über geometrische Zwangsbedingungen kann eine Überprüfung erfolgen, d.h. dass Punkte, die nach der Modellannahme auf einer Ebene oder Gerade liegen sollen, auf genau diese Bedingung hin untersucht werden können. Voraussetzung ist, dass mehr Punkte gemessen werden, als für die Berechung der geometrischen Form unbedingt nötig (für eine Gerade mehr als zwei Punkte, für eine Ebene mehr als drei).

rierten Objekten sehr viele Instrumentenstandpunkte eingerichtet werden, um den gesamten Objektbereich einsehen und erfassen zu können. Diese lohnt sich aber nur, wenn eine entsprechend hohe Anzahl von Punkten zu erfassen ist und dadurch der zeitliche Aufwand für die geodätischen Grundlagenmessungen wie für die jeweiligen Instrumentenstationierungen auch wirtschaftlich zu vertreten ist. Sofern die Genauigkeitsanforderungen dies zulassen und keine dreidimensionalen Objektkoordinaten zu bestimmen sind, sollte der Einsatz der tachymetrischen Verfahren im Vergleich z.B. zum Handaufmaß abgewogen werden.

Als isoliertes Verfahren ist die Tachymetrie immer dann sinnvoll anzuwenden, wenn eine Geometrieerfassung offensichtlicher Bauwerksstrukturen erfolgen soll, wenn keine fachspezifische, inhaltliche Auseinandersetzung zu leisten ist. Hierbei kann besonders unter Einsatz der Online-Darstellung in vielen Fällen schon während der Bauaufnahme das Geometriemodell fertiggestellt werden, sodass eine weitergehende Bearbeitung im Büro entfallen kann. Bei entsprechender Programmierung der Messroutinen wird die Plangestaltung parallel zur Messung ausgeführt, indem z.B. eine automatisierte Bemaßung oder die Darstellung von Punkthöhen als Signaturen im Plan erfolgt [TACHYCAD, 2000]. Die Nutzung der unterstützenden Konstruktionsfunktionen des CAD-Systems sollte bei der Online-Bauaufnahme nur für geringe Genauigkeitsanforderungen (z.B. bei einfachen Sanierungen, Inventarisierung und Facility Management) vorgesehen werden. Die tachymetrische Bauaufnahme kann besonders zur Steigerung der Bauaufnahmeeffizienz beitragen, wenn zusätzliche Daten in einer Datenbank erfasst werden sollen. Ist hierfür ergänzendes Fachwissen erforderlich, sollte das Bauaufnahmeteam um die entsprechenden Spezialisten erweitert werden. Die Verknüpfung der Geometriedaten mit den Objekten einer Datenbank ist nicht nur im Rahmen der Erfassung für Gebäudeinformationssysteme oder Facility Management Systeme sinnvoll. Auch für Anwendungen in Denkmalpflege, Bauforschung oder Archäologie können hierdurch die fachlichen Informationen parallel in einer Datenbank erfasst werden.

Für Bauaufnahmen eines kleinen Arbeitsmaßstabes von bis zu 1:100 sind die beschriebenen tachymetrischen Methoden mit Ausnahme der scannenden Verfahren in allen Bereichen sinnvoll zu verwenden. Wird dagegen eine höhere Genauigkeit verlangt, sind die Hinweise zum Einsatz von Reflektoren – besonders unter Einsatz von Exzentrizitäten – und zur Vorgehensweise bei der reflektorlosen Tachymetrie unbedingt zu beachten. Nur so ist das theoretische Genauigkeitspotenzial des Messverfahrens auch praktisch zu erreichen. Um die Bauaufnahme direkt vor Ort kontrollieren zu können, ist eine Online-Darstellung der Ergebnisse generell zu empfehlen.

Ist dagegen eine vertiefende inhaltliche Auseinandersetzung mit dem Baukörper bereits für die geometrische Modellierung durchzuführen, sollten tachymetrische Verfahren nur in enger gemeinsamer Kooperation mit den beteiligten Fachgebieten angewendet werden. Hier sind die tachymetrischen Methoden an die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Anwendung anzupassen. Die Anlage eines verdichteten Bezugsnetzes ist als eine Möglichkeit im Kapitel 4.2.3, 'Realisierung von Koordinatensystemen', vorgestellt worden, vertiefend wird auf diesen Punkt im Kapitel 6, 'Bauaufnahmestrategien', eingegangen.

Scannende Verfahren sind immer dann einzusetzen, sofern Massenmodelle von Bauwerken automatisch erzeugt werden sollen. Auch wenn über eine Datenanalyse aus den Punktwolken Flächen und Kanten abgeleitet werden können, ist der Einsatz von Scannern für eine inhaltlich geprägte Bauaufnahme nicht vorzusehen. Sinnvoll erscheint der Einsatz scannender Verfahren immer dann, wenn ohne manuelle Nachbereitung schematische Geometriemodelle zu erfassen sind. Hierunter kann die Geometrieerfassung als Grundlage für eine Facility Management System ebenso verstanden werden, wie die Bestimmung von Schnittlinien hoher Dichte, z.B. um Deformationen beobachten zu können [JARNACH, 1994]. Sind einfache, dreidimensionale Geometriemodelle als Grundlage für eine Visualisierung zu erstellen, bieten die scannenden Messverfahren in Kombination mit weiteren Bilddaten eine schnelle und kostengünstige Alternative zu den üblichen zeit- und arbeitsintensiven Bauaufnahmemethoden. Für geometrische und inhaltlich genauere Ansprüche sollten die scannenden Verfahren nur in Kombination mit der digitalen Photogrammetrie eingesetzt werden[30].

[30] vgl. Kap. 5.3.2.4, 'Differentielle Entzerrung'

5.3 Photogrammetrische Methoden

Der Einsatz der Fotografie zur Lösung messtechnischer Probleme wurde schon von Dominique François Arago im Jahre 1839 in Erwägung gezogen, als er vor der Französischen Akademie der Wissenschaften die Erfindung der Fotografie vorstellte [ALBERTZ, 1999]. Die Entwicklung einer Methode zur Vermessung von Objekten auf Grundlage der in der Fotografie angewendeten Zentralperspektive wurde unabhängig voneinander fast zeitgleich von Aimé Laussedat und Albrecht Meydenbauer vorgenommen [ALBERTZ, 1999]. Damals wie heute lassen sich in den charakteristischen Merkmalen der Fotografie wesentliche Argumente für die Anwendung photogrammetrischer Methoden zur Vermessung offensichtlich erkennen:

- Das Objekt muss zur Vermessung nicht betreten werden, alle notwendigen Messbilder können berührungslos aus sicherer Entfernung aufgenommen werden.
- Der für eine Vermessung notwendige Zeitbedarf am Objekt beschränkt sich im Wesentlichen auf die Dauer der Platten-, Film- oder Sensorbelichtung und liegt damit um ein Vielfaches unter dem konventioneller Messmethoden.
- Durch die Belichtung auf analogen Film oder digitalen Speicher wird der Objektzustand zum Zeitpunkt der Aufnahme dokumentiert, somit entsteht ein Archiv, das jederzeit für weitere Auswertungen genutzt werden kann.

Albrecht Meydenbauer, der bei einer im konventionellen Handaufmaß ausgeführten Bauaufnahme des Doms zu Wetzlar im Jahre 1858 beinahe beim Einstieg in den Turm durch eine Luke aus einem Förderkorb gefallen wäre, wurde durch die der Fotografie innewohnende Möglichkeit der berührungslosen Erfassung großer Bauwerke zur Entwicklung der Photogrammetrie[31] angeregt. Dabei hat Meydenbauer nicht nur das Potenzial der Photogrammetrie zur Vermessung erkannt, sondern auch den besonderen Wert dieser über die allgemeine Abbildung hinausgehenden, geometrischen Dokumentationsmethode. So bestand Meydenbauer lebenslanges Bestreben in der Förderung der Photogrammetrie zur Lösung verschiedenster Vermessungsaufgaben und in der Einrichtung eines Denkmalarchivs, das die photogrammetrische Dokumentation wichtiger Bauwerke leisten sollte. Mit der Preußischen Meßbildanstalt konnte eine derartige Institution durch Meydenbauer im Jahre 1885 aufgebaut und als photogrammetrisches Kulturgüterarchiv weiter bis 1921 betrieben werden[32] [SCHULTZ, 1986].

Wie zu Zeiten Meydenbauers wird der Einsatz der Photogrammetrie zur Dokumentation und Vermessung von Bauwerken, Denkmalen und Kulturgütern von vielen Seiten engagiert betrieben [z.B. CIPA, 2001]. Ebenso gilt aber auch heute wie damals [GRIMM, 1986; SCHMIDT, H., 1986], dass die Anwendung photogrammetrischer Verfahren auf diesen Gebieten von Architekten, Denkmalpflegern, Kunstgeschichtlern oder Archäologen mit einiger Skepsis gesehen wird [z.B. MERTENS, 1984; SCHMIDT, H., 1988; GERNER-HANSEN, 2001]. Dabei werden die von den Photogrammetern bezeichneten Verfahrensvorteile von den historischen Disziplinen als Nachteile eingestuft, weil durch eine berührungslose, vom Untersuchungsobjekt abgetrennte Auswertung viele der wichtigen Informationen nicht erkannt werden können. Um diese bisweilen dogmatische Sichtweise in der Befürwortung oder Ablehnung der photogrammetrischen Methoden zu überwinden und die Möglichkeiten photogrammetrischer Verfahren für die Aufgabe nutzbringend ausschöpfen zu können, ist eine fundierte Kenntnis um die Vor- und Nachteile der Photogrammetrie unter Berücksichtigung der jeweiligen fachspezifischen Anforderungen notwendige Voraussetzung. Nach einer Einführung in die photogrammetrischen Grundprinzipien werden die einzelnen photogrammetrischen Verfahren vorgestellt und die Einsatzmöglichkeiten in den Anwendungsgebieten der Bauaufnahme vor dem Hintergrund der 'Allgemeinen Modelltheorie' aufgezeigt.

5.3.1 Photogrammetrisches Messprinzip

Die photogrammetrischen Methoden sind in den zurückliegenden Jahren einem grundlegenden Wandel unterzogen worden[33]. Hat Meydenbauer die Vermessungsaufgabe durch grafische Rekonstruktion des zentralperspektivischen Strahlenbündels gelöst, so wurde mit Entwicklung der Stereophotogrammetrie

[31] Der Begriff wurde von Albrecht Meydenbauer im Jahre 1867 selbst geprägt [ALBERTZ, 1999].

[32] vgl. Kap. 5.3.6, 'Photogrammetrie und Kulturgüterschutz'

[33] vgl. hierzu [GRÜN, 1994]

das stereoskopische Messprinzip für die Bildauswertung genutzt, bis schließlich die moderne Rechnertechnik numerische Lösungen für die Gleichungen der Zentralperspektive bereitstellte und damit die so genannte analytische Photogrammetrie ermöglichte. Die digitale Photogrammetrie eröffnete besonders durch ihr Potenzial zur Automatisierung von Messabläufen vielfältige Möglichkeiten [ALBERTZ, 1986], die auch und gerade in der Architekturphotogrammetrie neue Anwendungen erschließen. In jedem der verschiedenen photogrammetrischen Messverfahren wird ein eigener Lösungsweg gefunden, sodass aus der fotografischen Abbildung die Geometrie des Originals abgeleitet werden kann. Im Rahmen aller photogrammetrischen Auswertungen sind grundlegende Prinzipien zu berücksichtigen und Arbeitsschritte auszuführen, die nachfolgend in ihrem prinzipiellen Charakter erläutert werden.

Zur erfolgreichen Anwendung aller photogrammetrischen Verfahren muss das Objekt vollständig mit ausreichender fotografischer Qualität aufgenommen und darüber hinaus ein geometrischer Zusammenhang zwischen Objekt, Messbildern und übergeordnetem Koordinatensystem hergestellt werden, durch den eine messtechnische Auswertung in der gewünschten Genauigkeit und Vollständigkeit erfolgen kann. Für die gute fotografische Qualität bildet eine ausreichende Belichtung des Objektes die notwendige Voraussetzung, unabhängig ob die Speicherung der Bildinformationen auf Glasplatte, Film oder digitalem Sensor erfolgt. Hierfür sind nicht nur die örtlichen Beleuchtungsverhältnisse, die unter Umständen durch künstliche Ausleuchtung verbessert werden müssen, entscheidend, sondern auch die Wahl der Lichtempfindlichkeit des analogen oder digitalen Sensors und die Einstellung von Blende und Belichtungszeit. Durch die Blendenwahl wird in Abhängigkeit von der Objektivbrennweite die Größe des scharf abzubildenden Objektbereichs (Schärfentiefebereich) beeinflusst. Die Ausdehnung des Aufnahmebereichs wird durch die Kameraparameter Sensorgröße (s') und Kamerakonstante[34] (c) sowie durch die Entfernung (y) zum Aufnahmeobjekt bestimmt (Abb. 5.16).

In welcher Auflösung das Objekt durch den fotografischen Prozess aufgenommen werden kann, hängt von der Film- bzw. Sensorauflösung wie von dem durch Brennweite und Aufnahmeentfernung definierten Abbildungsmaßstab ab[35]. Werden analoge Bilder unter Einsatz eines Scanners digitalisiert, ist die Auflösung des Scanners entsprechend zu berücksichtigen.

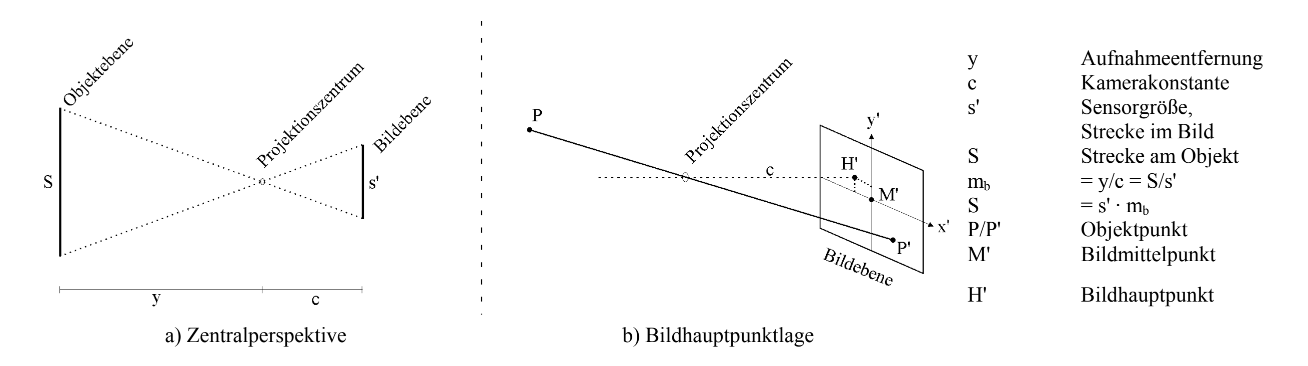


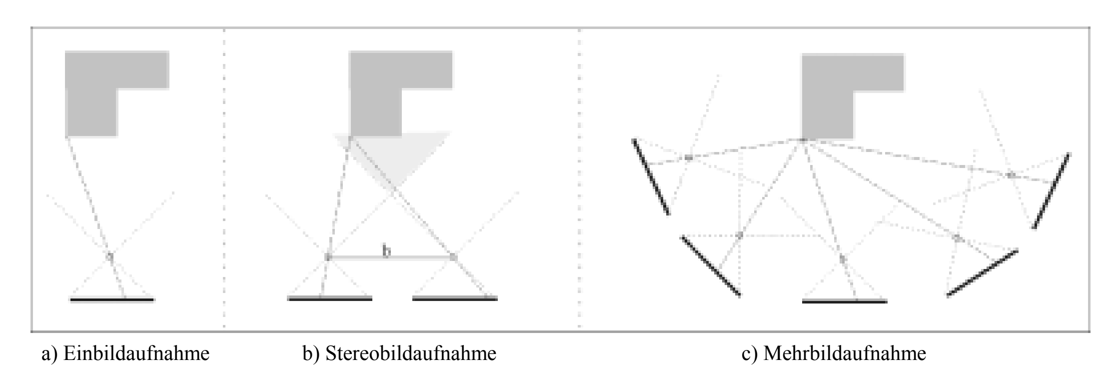
Abb. 5.16: Zentralperspektive [nach LUHMANN, 2000]

Durch die Auflösung wird sowohl die Detailerkennbarkeit der fotografischen Aufnahme wie die maximal zu erreichende geometrische Genauigkeit begrenzt (Erfassungsgenauigkeit). Die Messgenauigkeit photogrammetrischer Verfahren wird im Wesentlichen von der Genauigkeit beeinflusst, mit der die Messungen im Bild ausgeführt werden können, sowie von der relativen Anordnung der Aufnahmen untereinander und im Bezug auf das Objekt. Werden Bildkoordinaten im einfachsten Fall mit einem Maßstab vom Bild abgegriffen, lassen sich diese Bildkoordinaten nicht genauer als 0,2 mm bestimmen. Unter Einsatz eines Digitalisiertisches oder durch manuelle Messung in digitalen Bildern können Bildmessgenauigkeiten von ca. 20 µm im Originalbild (Negativ/Positiv) sichergestellt werden. Bei Verwendung von Komparatoren

[34] Bei photogrammetrischen Anwendungen wird anstelle der Brennweite (physikalische Objektiveigenschaft) der Begriff Kamerakonstante (mathematische Festlegung als Maßstabsfaktor der Kamerafunktion, abhängig von der Fokussierung) verwendet.

[35] Auflösung am Objekt = Bildauflösung · m_b

(Monokomparator oder stereoskopischer analytischer Plotter) sind die Werte mit einer Genauigkeit von ca. 2-10 µm zu ermitteln [LUHMANN, 2000]. Für digitale Bilddaten können auch automatische Messalgorithmen eingesetzt werden, die geometrische Genauigkeiten kleiner der durch die Sensorelementgröße vorgegebenen Auflösung erreichen und bei 0,1 bis 0,2 Pixel[36] liegen können [LUHMANN, 2000]. Für typische Pixelgrößen von 9 · 9 µm² lässt sich damit eine geometrische Genauigkeit von 1-2 µm erzielen.



a) Einbildaufnahme b) Stereobildaufnahme c) Mehrbildaufnahme

Abb. 5.17: Photogrammetrische Aufnahmeanordnungen

Für die eigentliche Auswertung ist aber die Genauigkeit entscheidend, die am Objekt erreicht werden kann. Durch den Abbildungsmaßstab sowie die geometrische Anordnung der Aufnahmen um den auszuwertenden Objektbereich wird die Bildmessgenauigkeit in eine dreidimensionale Messgenauigkeit am Objekt übertragen[37]. Generell sollte zur Steigerung sowohl der Mess- wie der Erfassungsgenauigkeit ein möglichst großer Bildmaßstab gewählt werden (Abb. 5.16). Bei Anwendung des Mehrbildverfahrens sind die Aufnahmestandorte so zu wählen, dass die am Objekt auftretenden Schnittwinkel der Bildstrahlen dem optimalen Wert von 100 gon nahe kommen und jeder Objektpunkt in mehren Bildern enthalten ist (5.17c). Die Anordnung für den Normalfall der Stereoaufnahme sollte aus zwei parallel ausgerichteten Aufnahmen bestehen, deren Abstand untereinander (b) im Verhältnis zur Aufnahmeentfernung (y) die Größe von 1:5 bis maximal 1:15 einnehmen kann (Abb. 5.17b) [CIPA, 1982]. Bei Einbildaufnahmen ist die Bildebene parallel zur Objektebene zu positionieren, da hierdurch Verzerrungen klein gehalten werden können und durch diese Anordnung eine gute inhaltliche Auswertung ermöglicht wird (Abb. 5.17a, 5.21). Die Anordnung der Aufnahmen unter geometrischen Gesichtspunkten zur Einhaltung von geforderten Genauigkeitsgrenzen darf aber einer lückenlosen Erfassung des Objekts nicht entgegenstehen. Auch wenn bei Verwenden von digitalen Aufnahmesystemen das Bild in seinem Inhalt wie in seiner Qualität sofort beurteilt werden kann, muss – wie bei filmbasierten Systemen auch – eine sorgfältige Aufnahmeplanung ausgeführt werden. Die Wahl der sich gegenseitig beeinflussenden Parameter ist so zu optimieren, dass das Objekt in seiner gesamten Ausdehnung bei guter fotografischer Qualität, mit ausreichender Auflösung und geometrischer Genauigkeit abgebildet wird.

Die photogrammetrische Auswertung beruht auf den theoretischen Formeln der zentralperspektivischen Abbildung. Die Zentralperspektive kann je nach verwendeten Aufnahmesystemen mehr oder weniger streng eingehalten werden. Wesentliche Einflussgrößen sind Verzeichnungseffekte der verwendeten Linsen, eine nicht konstante Kamerakonstante sowie Abweichungen der Abbildungsfläche von der theoretisch geforderten Ebene durch Film- bzw. Sensorunebenheiten. Diese Eigenschaften werden durch die Parameter der so genannten inneren Orientierung ausgedrückt (Abb. 5.16b):

- Lage des Projektionszentrums im kamerafesten Bildkoordinatensystem (Bildhauptpunktslage H')
- Kamerakonstante c
- Parameter der Bildverzeichnung

[36] Typische Größen von Pixeln hochauflösender Digitalkameras sind 4 bis 15 µm [LUHMANN, 2000].

[37] Als Näherung kann für die Genauigkeitsabschätzung parallel zur Bildebene gelten: σ_X, $\sigma_Z = \sigma' \cdot m_b$ und senkrecht zur Bildebene $\sigma_Y = \sigma' \cdot m_b \cdot y/b$ mit σ' = Bildmessgenauigkeit, m_b = Aufnahmemaßstab, y = Aufnahmeentfernung, b = Aufnahmebasis (vgl. Abb. 5.16, 5.17).

Kann die innere Orientierung durch eine entsprechende Bauweise der Kamera über einen längeren Zeitraum konstant gehalten werden, wird von einer 'Messkamera' gesprochen. Eventuell vorhandene Abweichungen von der Zentralperspektive sind durch eine Kalibrierung für jede Messkamera zu bestimmen. Bei den so genannten Teil-Messkameras können die Veränderungen in der Zentralperspektive durch bauliche Einrichtungen (Réseau und gerastete Fokuseinstellung) erfasst und im Rahmen der Auswertung rechnerisch berücksichtigt werden. Kameras mit wechselnden geometrischen Veränderungen, wie sie bei normalen Amateurkameras anzutreffen sind, werden als 'Nicht-Messkameras' bezeichnet. Bei diesem Typ muss mit geringer geometrischer Genauigkeit gerechnet werden; eine Verbesserung der Genauigkeit lässt sich wie bei den anderen Kameras auch durch eine rechnerische Korrektur auf der Grundlage von zusätzlichen geometrischen Informationen am Bauwerk (in der Regel Passpunkte oder Passstrecken) erreichen[38].

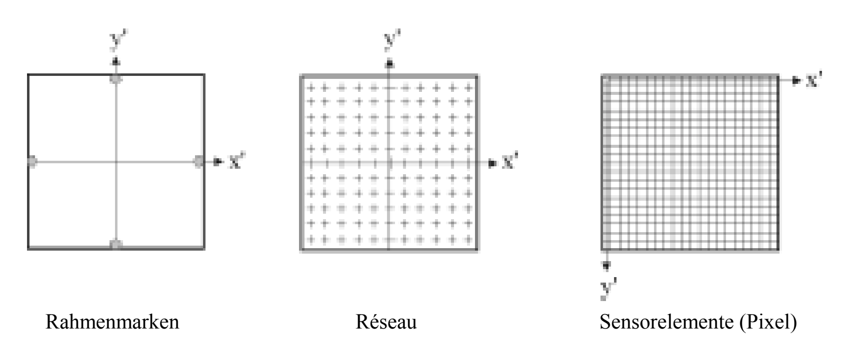


Abb. 5.18: Bildkoordinatensysteme [nach LUHMANN, 2000]

Die Definition des kamerafesten Bildkoordinatensystems wird bei Messkameras über Rahmenmarken, bei Teilmesskameras über ein Réseaugitter, bei Nicht-Messkameras über die Bildecken und für digitale Sensoren über die Position der Sensorelemente vorgenommen (Abb. 5.18).

Die Messung von Bildkoordinaten eines Einzelbildes ist für eine Objektvermessung in der Regel nicht ausreichend[39]. Zur dreidimensionalen geometrischen Rekonstruktion müssen die unterschiedlichen Bilder miteinander verknüpft und der Bezug zum übergeordneten Objektkoordinatensystem hergestellt werden. Die Verknüpfung der Bilder erfolgt über fehlerfrei am Objekt zu identifizierende und in mehreren Bildern eindeutig zuzuordnende (homologe) Punkte. Um aber die Größe, Position und Orientierung des Objekts im übergeordneten Koordinatensystem angeben zu können, müssen Punkte mit im Bezugssystem bestimmten dreidimensionalen Koordinaten (Passpunkte) in den Bildern gemessen werden. Der gesamte Vorgang der gegenseitigen, relativen Zuordnung der Bilder und der absoluten Einordnung in das übergeordnete Koordinatensystem wird mit dem Begriff 'äußere Orientierung' belegt.

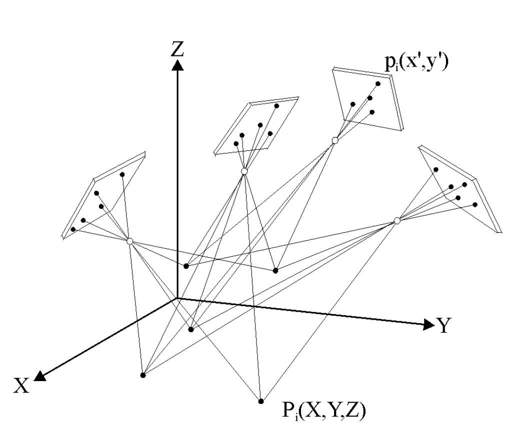


Abb. 5.19: Relative und absolute äußere Orientierung eines Aufnahmebündels (nach: WESTER-EBBINGHAUS, 1987)

38 Beim Einsatz von normalen Digital- oder Videokameras ist darauf zu achten, dass der Autofokus abzustellen ist, damit für die Aufnahmen mit einer konstanten Kamerakonstante gearbeitet werden kann.

39 Eine Ausnahme bilden die Einbildverfahren, für die aber die geometrische Form des Objektes bekannt sein muss (Ebene, Zylinder, etc.), vgl. Kap. 5.3.2, 'Einbildauswertung'.

Verknüpfungspunkte wie Passpunkte können sowohl natürliche Punkte des Objekts als auch künstliche Zielmarken sein. Die Koordinaten der Passpunkte sind in der Regel durch geodätische Messungen zu bestimmen. Sofern aber auf die absolute Position und Orientierung im übergeordneten Koordinatensystem verzichtet werden kann, ist es zur Festlegung der Objektdimensionen ausreichend, Streckenlängen am Objekt zu messen. Bei Bauwerken sollte dann ergänzend die Lotrichtung markiert und in den Messbildern mit fotografiert werden, um Abweichungen aus der Senkrechten erfassen zu können.

Zusammenfassend können die photogrammetrischen Methoden in fünf Hauptarbeitsschritte unterteilt werden:

- Aufnahmeplanung,
- Passpunktbestimmung,
- Anfertigung der Aufnahmen,
- Herstellen der inneren und äußeren Orientierung zur Rekonstruktion der Aufnahmegeometrie
- und eigentliche Auswertung.

Die detaillierte Darstellung dieser fünf Abschnitte inklusive der Besonderheiten jedes photogrammetrischen Verfahrens ist generell für die Bewertung der photogrammetrischen Methoden nicht notwendig. Sofern einzelne Aspekte für das Verständnis wichtig sind, werden diese in dem entsprechenden Zusammenhang behandelt. Für ein vertiefendes Studium sei auf die entsprechenden Kapitel der Lehrbücher z.B. von G. Weimann [Weimann, 1988], K. Regensburger [Regensburger, 1990], K. B. Atkinson [Atkinson, 1996] und T. Luhmann [Luhmann, 2000] verwiesen.

Aus der allgemeinen Arbeitsweise der Photogrammetrie ergeben sich Konsequenzen für die Bauaufnahme, die vor dem Hintergrund der 'Allgemeinen Modelltheorie' zu diskutieren und im Rahmen einer integrierten Planung von Bauaufnahmekampagnen zu berücksichtigen sind[40].

Die fotografische Abbildung stellt einen zusätzlichen Schritt im Rahmen des Modellierungsprozesses dar. Die Modellierung erfolgt nicht mehr durch Messung direkt am Originalobjekt, sodass mit Informationsverlust bei Verwenden des photogrammetrischen Modells gerechnet werden muss. Die fotografische Abbildung ist nur auf den ersten Blick eine identische Kopie des Originals. Durch die technischen Bedingungen der Aufnahme wie Filmmaterial, Belichtung, Scharfabbildung oder Auflösung kann die inhaltliche wie geometrische Aussage des photogrammetrischen Modells stark begrenzt werden. Auch die Wahl von Aufnahmerichtung und Bildgröße oder eventuell vorhandene Verdeckungen oder Hinterschneidungen stellen eine Einschränkung dar, die während der Auswertung nicht mehr überwunden werden kann. Alle Objektbereiche, die nicht mit der für den Zweck notwendigen Auflösung und Genauigkeit im photogrammetrischen Modell abgebildet sind, lassen sich während der Auswertung auch nicht modellieren.

Vielfach wird der besondere Wert der Photogrammetrie in ihrer objektiven Art der Dokumentation und Vermessung gesehen. Diese Objektivität muss insofern eingeschränkt werden, als auch das Anfertigen von Fotografien unter subjektiven Umständen erfolgt, da Entscheidungen über Belichtung, Bildausschnitt oder Aufnahmerichtung während jeder Aufnahme individuell, d.h. subjektiv und für den Zweck angepasst, getroffen werden müssen. Somit ist auch bei der Photogrammetrie die Frage nach den Subjekten und dem Zweck der Modellierung zu stellen und im Umgang mit der Auswertung zu berücksichtigen. Der subjektive Einfluss ist aber nicht für alle Anwendungen gleich hoch zu bewerten, insbesondere wenn der Zweck der Bauaufnahme nur geringe Anforderungen an die Genauigkeit stellt. Dies gilt zum Beispiel für die Anwendung bei einfachen Sanierungen oder Denkmalinventaren, aber nicht für die Verwendung in der Bauforschung. Hier kann die Subjektivität und die Ausrichtung auf einen bestimmten Modellierungszweck einen entscheidenden Einfluss ausüben, wie am Beispiel der Objektbeleuchtung anschaulich aufzuzeigen ist.

Bei konventionellen photogrammetrischen Aufnahmen wird generell eine diffuse Beleuchtung des Objekts gefordert, damit durch Sonneneinstrahlung verursachter Schattenwurf vermieden werden kann (Abb. 5.20a) und Fehlinterpretationen vor allem an Kanten weitgehend auszuschließen sind. Für die Bauforschung wichtige Strukturen wie Ritzlinien, feine Reliefs etc. sind aber erst im Streiflicht zu

[40] Übergeordnete photogrammetrische Konzepte für die Bauaufnahme werden im Kap. 6, 'Bauaufnahmestrategien' behandelt.

erkennen[41] (Abb. 5.20b) und wären somit mit einem aus konventionellen photogrammetrischen Gesichtspunkten angefertigten Modell nicht abzuleiten.


a) diffuse Beleuchtung

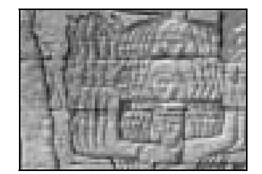

b) Streiflicht

Abb. 5.20: Einfluss von Objektbeleuchtung (Naga, Löwentempel, Messbildausschnitt des Pylons)

Hier ist gerade die durch den Schattenwurf bedingte Verstärkung der kleinen Vertiefungen in der Oberfläche notwendige Voraussetzung für eine zweckdienliche Auswertung. Die Einordnung der Photogrammetrie als objektives und zweckfreies Bauaufnahmeverfahren kann demnach – zumindest für die Bauforschung – nicht gelten. Da diese Bewertung der Photogrammetrie jedoch trotzdem häufig undifferenziert vorgenommen wird, stehen photogrammetrische Verfahren wegen ihrer schwer zu erkennenden Subjektivität in besonderer Kritik [MADER, 1982; SCHMIDT, H., 1988].

Einer weitere Einschränkung in der Nutzung für einen bestimmten Zweck ist die Photogrammetrie dadurch unterworfen, dass sie verfahrensbedingt ausschließlich Oberflächen abbilden kann. Für einige Bereiche (Bauforschung, Statik) ist aber eine Untersuchung von z.B. Fugen oder Stoßflächen derart wichtig, dass ohne deren Berücksichtigung auch eine falsche Bewertung und Modellierung der offensichtlichen Oberflächeninformationen erfolgen kann. Eine mit der Hand am Objekt ausgeführte Untersuchung ist in diesen Fällen nicht nur zur Ermittlung ergänzender Informationen notwendig, sondern auch für eine richtige Einordnung der photogrammetrisch erfassten Oberflächeninformationen. Somit kann eine geometrisch richtige und inhaltlich vollständige photogrammetrische Modellierung der Oberflächeninformationen trotzdem eine fehlerhafte inhaltliche Aussage enthalten, wenn die Auswertung nicht entsprechend kritisch beurteilt und gegebenenfalls überarbeitet wird.

Mit der Photogrammetrie ist eine örtliche Verlagerung der Objekterfassung verbunden. Die eigentliche Erfassung wird am photogrammetrischen Modell vorgenommen und findet somit nicht am Objekt, sondern im Büro statt. Diese Vorgehensweise wird zum einen als wesentlicher Vorzug aller photogrammetrischen Verfahren angesehen; hierdurch werden kurze Messzeiten vor Ort erreicht, die aber lange Auswertezeiten im Büro bedingen. Diese Arbeitsteilung ist bei vielen Anwendungen entscheidender Vorteil, wenn z.B. das Objekt gar nicht bzw. nur kurz betreten werden kann oder durch die hiermit verbundene Kostenreduktion eine Bauaufnahme erst wirtschaftlich durchzuführen ist. Besteht aber wie in der Bauforschung die Bauaufnahme nicht nur aus der geometrischen Erfassung, sondern zu einem Großteil aus der intensiven Beschäftigung mit dem Objekt, so ist die Auswertung am photogrammetrischen Modell nur bedingt für den Zweck geeignet.

Durch die technischen Möglichkeiten der fotografischen Abbildung kann aber auch eine Vergrößerung des Informationsgehalts im photogrammetrischen Modell gegenüber dem Original erreicht werden. Der Mensch ist bei der am Original durchgeführten Objekterfassung auf die Fähigkeit seines Auges begrenzt, Informationen nur im sichtbaren Bereich des Wellenspektrums[42] wahrnehmen zu können. Bei Verwendung von Infrarotfilm [ARTESE, ACHILLI, 1997; HERRÁEZ BOQUERA et al., 1997], durch die Kombination von verschiedenen Spektralkanälen [HECKES, 2001; HECKES et al., 2000; LERMA et al., 2000] oder bei nachträglicher Anwendung von Bildverarbeitungsmethoden [RODEHORST, 1997] können zusätzliche Informationen erkannt und z.B. für die Steinkartierung, die Schadenserkennung oder zur Aufdeckung früherer Bauzustände genutzt werden; hierdurch wird Unsichtbares sichtbar und das Modell kann mehr Informationen für den Nutzer als das Original bereitstellen. Anwendungen finden diese Verfahren besonders in der Restaurierung oder bei speziellen Fragestellungen in der Denkmalpflege und Bauforschung[43].

---

41 Besonders eindruckvolle Beispiele für die Entdeckung von Ritzzeichnungen sind bei F. Hinkel [HINKEL, 1996] und L. Haselberger [HASELBERGER, 1980] nachzulesen. Zu den speziellen Anforderungen der Beleuchtung von Schrifttafeln für die photogrammetrische Dokumentation siehe auch [JOBST, 1999].

42 Wellenlänge von 400-700 nm

43 vgl. Kap. 5.3.5, 'Automatische photogrammetrische Verfahren'

5.3.2 Einbildauswertung

Der Einbildauswertung lassen sich alle photogrammetrischen Methoden zuordnen, bei denen die geometrische Auswertung mit nur einem Messbild vorgenommen werden kann. Dies ist immer dann möglich, wenn ergänzende Informationen über die Objektgeometrie, wie z.B. die Ebenheit einer Bauwerksfassade, für die Auswertung zu nutzen sind. Die Objekterfassung soll nur durch Messung in einem Bild möglich sein, vielfach sind aber mehrere Bilder notwendig, um den gesamten Objektbereich abdecken zu können. Der Begriff soll auch dann Verwendung finden, wenn zuvor z.B. im Rahmen der vorausgehenden Orientierungsberechnungen mehrere Aufnahmen erforderlich sind.

Wichtigste Methoden der Einbildauswertung sind die Entzerrung, Abwicklung und kartographische Projektion photogrammetrischer Messbilder, mit denen durch geometrische Umbildung der Originalaufnahme eine bildhafte Darstellung hohen Informationsgehaltes erzeugt wird, die gleichsam inhaltlichen wie messtechnischen Ansprüchen genügt. Dabei nimmt das einfache Verfahren der Entzerrung eine herausragende Stellung ein, die auch daran abzulesen ist, dass der Begriff 'Entzerrung' vielfach als Oberbegriff für alle geometrischen Umbildungen gebraucht wird.

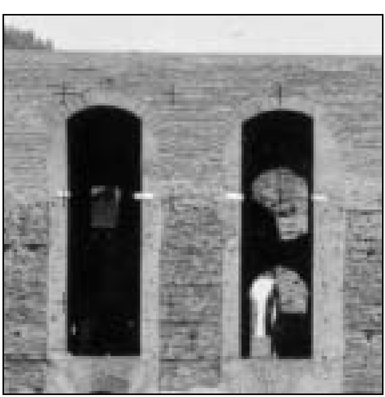
Dem Fachanwender werden als Endprodukt aller Entzerrungen geometrisch korrekte Bilder zur Verfügung gestellt, mit denen eine geometrische Auswertung durch einfache Messverfahren wie Strecken- und Winkelmessung oder Flächenbestimmung sehr leicht vorgenommen werden kann.

5.3.2.1 Ebene Entzerrung

Wie bereits in Kapitel 4.2.2, 'Abbildungen auf Bezugsflächen' dargelegt, erfolgt die geometrische Modellbildung bei Bauaufnahmen überwiegend durch Parallelprojektion auf Bezugsflächen (vgl. Abb. 4.7). Die fotografische Abbildung wird dagegen nach den Gesetzen der Zentralperspektive ausgeführt, sodass eine Abbildung nur mit zentralperspektivischen Verzerrungen zu erhalten ist. Typisches anschauliches Beispiel dieses Einflusses sind die stürzenden Linien, die in vielen Architekturaufnahmen zu beobachten sind (Abb. 5.21a).



a) Schrägaufnahme


b) Objekt- und Bildebene parallel

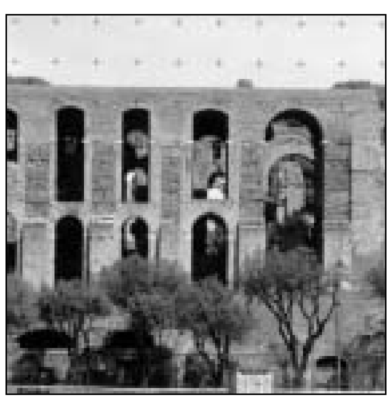

c) Fernaufnahme

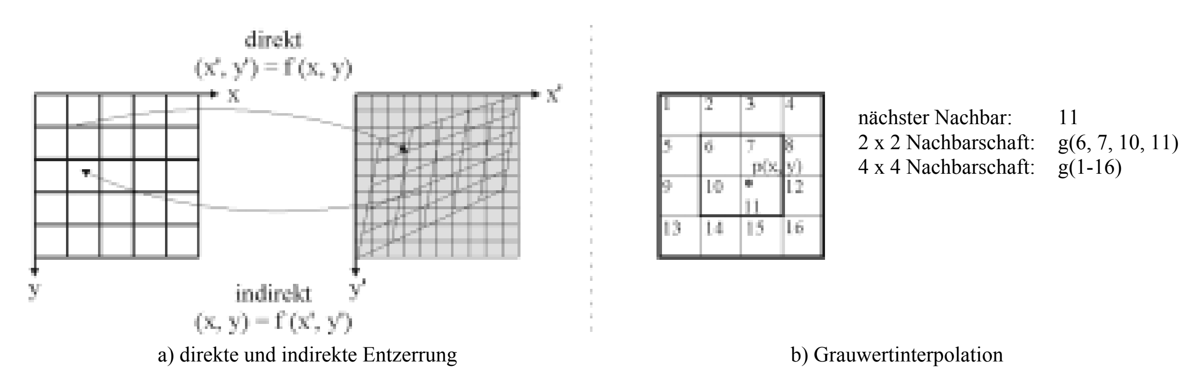
Abb. 5.21: Fotografische Abbildung (Rom, Palatin, Ansicht der 'Arcate' von Südwesten)

Bei der konventionellen fotografischen Dokumentation von Architekturfassaden wird häufig versucht, den Spezialfall der Zentralperspektive einzusetzen, bei dem die fotografische Abbildung einer maßstäblich verkleinerte Parallelprojektion sehr nahe kommt: Sofern sowohl Objekt wie auch Projektionsfläche eine Ebene darstellen und darüber hinaus beide parallel zueinander angeordnet sind, ist das fotografische Bild eine verkleinerte Parallelprojektion des Originals (Abb. 5.21b). Die Ebenheit von Objektebene wie Projektionsfläche kann in vielen Fällen unterstellt werden[44], eine parallele Ausrichtung der Kamera zum Objekt ist dagegen schwieriger herzustellen. Diese Parallelität ist überhaupt nicht einzuhalten, wenn z.B. hohe Fassaden mit nur einer Aufnahme erfasst werden sollen und dafür die Kamera stark geneigt werden

[44] Sofern Einflüsse von Objektivverzeichnung oder nicht plane Filmlage vernachlässigt werden und die Objektoberfläche innerhalb der Fehlertoleranzen durch eine Ebene repräsentiert werden kann.

muss. Eine Lösungsmöglichkeit können in diesen Fällen die so genannten Shift-Objektive bieten, bei denen das Projektionszentrum der Kamera aus der Bildmitte heraus versetzt werden kann, sodass bei horizontaler Ausrichtung der Kamera ein größerer Bereich in der Höhe zu fotografieren ist [DECHAU, 1995]. Doch auch hier kann die Orientierung der Kamera selbst bei größter Sorgfalt nur näherungsweise vorgenommen werden, sie genügt damit vielleicht optischen, aber nicht messtechnischen Anforderungen.

Eine Umbildung der Zentralperspektive in eine Parallelprojektion kann nur im Rahmen einer anschließenden Auswertung durch eine so genannte ebene Entzerrung nahezu fehlerfrei vorgenommen werden. Hierbei wird die Methode der projektiven Transformation verwendet, um aus dem verzerrten Bild eine parallel projizierte Darstellung berechnen zu können. Entsprechend der acht Parameter der Gleichungen der projektiven Transformation werden am Objekt vier Passpunkte mit bekannten Koordinaten benötigt [HEMMLEB, WIEDEMANN, 1997]. Die eigentliche Abbildung kann sowohl auf optischem Wege mit so genannten Entzerrungsgeräten[45] [KRAUS, 1990] als auch mit digitalen oder digitalisierten Bildern durch numerische Berechnung der Transformationsparameter und anschließender rechnerischer Umbildung jedes Bildpixel in das entzerrte Bild [HEMMLEB, WIEDEMANN, 1997; MARTEN et al., 1994] ausgeführt werden.



a) direkte und indirekte Entzerrung b) Grauwertinterpolation

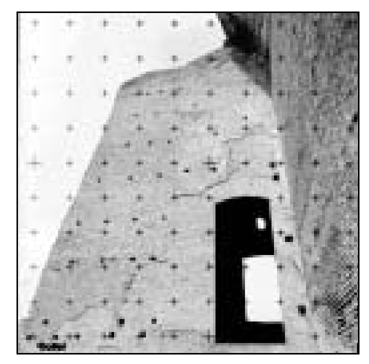
Abb. 5.22: Entzerrungsmethoden und Grauwertinterpolation [nach LUHMANN, 2000]

In der praktischen Realisierung der digitalen Entzerrung wird meist die so genannte indirekte Methode angewendet. Hierbei wird vom Endprodukt, der entzerrten Darstellung ausgegangen, die in Pixel mit einer Größe entsprechend der gewünschten Auflösung eingeteilt wird. Von der Pixelkoordinate des entzerrten Bildes wird mit den inversen Formeln der projektiven Transformation die zugehörige Position im Originalbild gesucht. Da die so berechnete Koordinate im Originalbild nicht genau auf ein Pixel fällt, muss aus den der Koordinate benachbarten Pixeln ein Grauwert ausgewählt werden, um diesen in das entzerrte Bild übertragen zu können (resampling). Hierbei wird entweder das nächste Pixel ausgewählt, oder der gesuchte Grauwert wird aus den benachbarten Pixeln berechnet (Abb. 5.22). Zur Berechnung des Grauwerts aus den umgebenden Pixeln können verschieden große Bereiche (2 x 2 oder 4 x 4 Pixel) und unterschiedliche Berechnungsverfahren gewählt werden. Bei allen Verfahren sollte die Auflösung des Ausgangsbildes mindestens die gleiche wie die des entzerrten Bildes sein, damit durch das Resampling keine Bildverschlechterung auftritt und aus der Entzerrung die selbe inhaltliche Information wie im Originalbild abzuleiten ist.

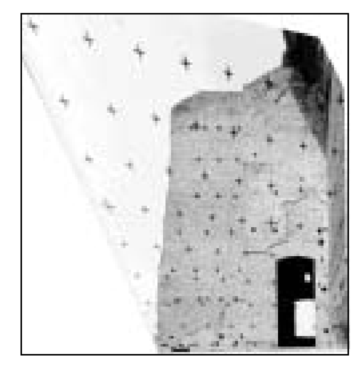
Zur digitalen Entzerrung werden verschiedene Softwarepakete angeboten [z.B. EDDI-2D, 2001; ELSP, 2001; MSR, 1996; PICTRAN, 2001], die speziell für diese Anwendung entwickelt worden sind und deshalb über die ebene Entzerrung hinaus ergänzende Möglichkeiten bieten. Neben der Entzerrung einzelner Bilder kann eine Montage mehrerer Einzelbilder zu einem gesamten maßstäblichen Bildplan (Bildmosaik) vorgenommen werden. Hierdurch lassen sich auch große Objekte, die nur in mehreren Einzelbildern zu fotografieren sind, in einem entzerrten Bildplan darstellen. In den entzerrten Bildern können ebene Bildkoordinaten, Streckenlängen und Flächengrößen bestimmt werden, sodass neben dem entzerrten Bild auch numerische Ergebnisse abzuleiten sind. Vielfach können die ermittelten Strecken und Flächen, aber auch Bemaßungen in das entzerrte Bild eingeblendet werden. Ist die Entzerrungsebene durch dreidimensionale Passpunkte definiert worden, lassen sich auch dreidimensionale Koordinaten im entzerrten Bild messen. Teilweise können eventuell vorhandene Informationen über die innere Orientierung der verwen-

[45] Von dieser Möglichkeit wird heute nur noch selten Gebrauch gemacht.

deten Kamera in die Auswertung einbezogen werden, um Effekte durch Objektivverzeichnung, Filmdeformationen oder auch Scannen berücksichtigen zu können und eine größere Genauigkeit bei der Entzerrung zu erzielen. Die Parameter der digitalen Entzerrung werden einer Ausgleichung unterzogen, sodass mehr als vier Passpunkte in die Berechnungen eingeführt werden können und hierdurch neben der Genauigkeitssteigerung eine Kontrolle auf Zuverlässigkeit gegeben ist.



a) Messbildoriginal Rollei 6006



b) mit MSR ausgeführte Entzerrung

Abb. 5.23: Digitale projektive Entzerrung (Rom, Palatin, kleine Therme)

Die ebene Entzerrung ist abzugrenzen von der Möglichkeit vieler CAD- oder Bildbearbeitungs-Programme, Bilddaten geometrisch zu korrigieren. Vielfach werden hier nur eine Affin-Transformation mit sechs Parametern oder eine Ähnlichkeitstransformation mit vier Parametern verwendet. Damit können zwar Verschiebung, Verdrehung und unterschiedliche Maßstäbe in den Koordinatenachsen, wie sie typischer Weise beim Kopieren oder Scannen von Plänen auftreten, berücksichtigt werden, doch eine ebene Entzerrung wird durch diese Transformationen nicht geleistet. Bei CAD-Programmen ist demnach anhand der verwendeten Transformationsparameter zu recherchieren, ob eine projektive Transformation gerechnet wird, auch wenn der Begriff 'Entzerrung' im Handbuch für diesen Vorgang Verwendung findet.

Die ebene Entzerrung ist wie vorstehend erläutert nur für ebene Objektoberflächen anzuwenden. Soll das Verfahren der Entzerrung eingesetzt werden, ist genau zu prüfen, ob das Objekt tatsächlich durch eine Ebene als Bezugsfläche repräsentiert werden kann. Im Kapitel 4.2.2, 'Abbildungen auf Bezugsflächen' ist der Fehlereinfluss von nicht in der Ebene liegenden Bereichen erläutert worden. Bei vielen Anwendungen werden die von kleinen, oft nur wenige Zentimeter großen Abweichungen verursachten Fehler als vernachlässigbar klein angesehen. Wie aber die Abbildungen 4.8 und 5.24 anschaulich demonstrieren, wird durch z.B. einen nur 2 cm großen Vorsprung (Δl) aus der Objektebene bei einem Aufnahmewinkel von 45° ein Lagefehler (Δr) von 2 cm durch eine Entzerrung hervorgerufen; ein Aufnahmewinkel von 25° verursacht bei der gleichen Kante einen Lagefehler von 0,9 cm. Wie dieses Zahlenbeispiel belegt, ist der Fehlereinfluss bedingt durch Oberflächenunebenheiten bei geringem Aufnahmewinkel wesentlich kleiner.

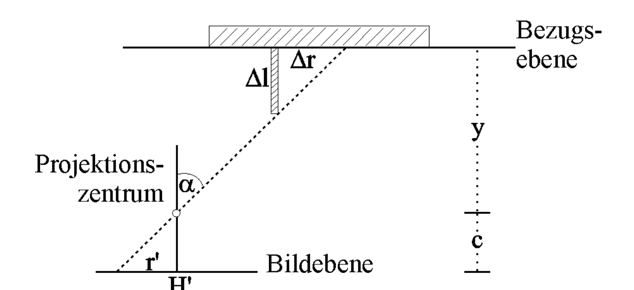


Abb. 5.24: Lagefehler der projektiven Entzerrung verursacht durch unebene Oberfläche

Der Aufnahmewinkel (α) wird durch die verwendete Kamerakonstante (c) und den Radialabstand (r') vom Bildhauptpunkt (H') bestimmt (Abb. 5.24). Soweit genug Platz für entsprechende Aufnahmeentfernungen vorhanden ist, sollten daher für Entzerrungen vorwiegend Teleobjektive und keine Weitwinkelobjektive eingesetzt werden. Eine mit langer Brennweite aus großer Distanz (y) angefertigte, senkrecht zur Projek-

tionsebene ausgerichtete Aufnahme entspricht optisch schon sehr gut einer Parallelprojektion [WIEDEMANN, 1997] (Abb. 5.21c). Da aber Architekturaufnahmen häufig mit Weitwinkelkameras ausgeführt werden, die ein großes Bildformat ($6 \cdot 6$ cm², $13 \cdot 18$ cm²) aufweisen, ist die Entzerrung unter Umständen auf einen kleinen Bereich um den Bildhauptpunkt zu beschränken. Auch wenn in der Literatur immer wieder Grenzwerte für die zulässige Abweichung aus der Ebene angegeben werden [Z.B. JÄNSCH, 1976], so ist doch für jede Anwendung individuell zu prüfen, ob die durch eine nicht ebene Oberfläche resultierenden Fehler toleriert werden können.

Große Abweichungen aus einer Ebene treten z.B. bei Fassaden auf, die eine starke Gliederung senkrecht zur Fassade aufweisen. Die durch die Entzerrung auf nur eine Ebene verursachen Lagefehler im entzerrten Bild entsprechen nicht den Genauigkeitsanforderungen der meisten Anwendungen (vgl. Abb. 5.41). Das Verfahren der projektiven Entzerrung kann hierbei in abgewandelter Form angewendet werden, sofern das Bauaufnahmeobjekt nicht nur aus einer, sondern aus mehreren, parallelen und in der Tiefe gestaffelten Ebenen besteht. In diesen Fällen ist jede der einzelnen Ebenen für sich getrennt zu entzerren und anschließend eine Montage der entzerrten Bilder zu einer Gesamtentzerrung vorzunehmen. Innerhalb dieses Bildmosaiks treten an den Übergangsstellen zwischen den einzelnen Bildern unterschiedliche Grauwerte auf, die nach Belichtungssituation der benachbarten Bilder größer oder kleiner ausgeprägt sein können. Obwohl hiermit keine Beeinträchtigung der geometrischen Qualität verbunden ist, sind diese unnatürlich aussehenden Grauwertübergänge für den visuellen Eindruck sehr störend. In die photogrammetrischen Entzerrungsprogramme ist neben der bereits genannten Möglichkeit der Bildmontage auch die der Korrektur des Grauwertverlaufs integriert. Gleichwohl können die Bildmontage wie auch die Grauwertkorrektur mit konventionellen Bildverarbeitungsprogrammen wie z.B. Photoshop [PHOTOSHOP, 2001] ausgeführt werden.

Die projektive Transformation zeichnet sich wesentlich dadurch aus, dass zur Entzerrung keine Informationen über die innere und äußere Orientierung der Kamera vorliegen müssen. Diese Eigenschaft wird von zwei weiteren Methoden der Einbildauswertung geteilt, mit denen nicht nur ebene Objekte auf der Grundlage eines Bildes ausgewertet werden können.

Zum einen kann der Zusammenhang zwischen Bild- und Objektkoordinaten durch Polynomfunktionen höheren Grades beschrieben werden, wenn die Oberfläche zwar uneben, aber im mathematischen Sinne stetig strukturiert ist [MARTEN et al., 1994]. Damit durch die Polynomfunktion die Oberfläche ausreichend genau zu repräsentieren ist, muss meist eine große Anzahl von Passpunkten bestimmt werden. Der hiermit verbundene Aufwand und die Gefahr des so genannten Ausschwingens der Funktion erschwert den praktischen Einsatz dieser Methode [HEMMLEB, WIEDEMANN, 1997], sodass Polynomfunktionen zur Oberflächenbeschreibung nur selten eingesetzt werden.

Die zweite Methode bedient sich der projektiven Geometrie, die es ermöglicht, aus nur einem Bild eine dreidimensionale Objektrekonstruktion vorzunehmen [STREILEIN, VAN DEN HEUVEL, 1999; VAN DEN HEUVEL, 2001]. Auf der Grundlage von parallelen Bauwerkslinien, Rechtwinkelbeziehungen sowie anderen geometrischen Zusatzinformationen lassen sich die räumlichen Orientierungen von Flächen berechnen. Das dreidimensionale Raummodell kann anschließend durch Verschneidung der einzelnen Flächen gewonnen werden. Zum Einsatz kann diese Methode kommen, wenn nur ein Bild des zu modellierenden Objektes vorliegt oder sehr einfache Bauwerksmodelle schnell und kostengünstig erzeugt werden sollen. Damit erlangt die Geometriemodellierung auf der Grundlage von Perspektivbeziehungen Bedeutung bei der technisch aufwändigen und anspruchsvollen Auswertung von Bildmaterial zerstörter Bauwerke. Hier liegt oft nur noch eine Aufnahme vor, aus der die notwendigen geometrische Informationen zur Rekonstruktion des Bauwerks gewonnen werden sollen[46]. Gleichfalls findet das Verfahren zur einfachen Architekturpräsentation im Internet Anwendung, bei denen nicht die geometrische Genauigkeit im Vordergrund steht. Entsprechende Auswertekomponenten sind z.B. in den Programmsystemen ShapeCapture [GRAI, 2001], 3D Builder [CGA, 2001] und PhotoModeler [PHOTOMODELER, 2001] enthalten.

[46] vgl. Kap. 5.3.6, 'Photogrammetrie und Kulturgüterschutz'

5.3.2.2 Digitale Abwicklung

An zahlreichen Bauwerken sind neben ebenen Objektbereichen auch einfach gekrümmte Oberflächen wie Zylinder oder Kegel anzutreffen. Insbesondere bei repräsentativen Bauten sind Elemente wie Türme, Apsiden oder Tonnengewölbe typische Merkmale, die im Zuge einer Bauaufnahme erfasst werden sollen. Durch digitale photogrammetrische Abwicklungen können auch diese Oberflächen in eine Ebene abgebildet werden, sodass die geometrisch korrekte Auswertung der bildhaften Informationen mit nur einem Messbild erfolgen kann.

Wie bei allen Einbildverfahren ist vor der eigentlichen Abwicklung die Form der Bezugsfläche zu ermitteln sowie der geometrische Bezug zwischen Objekt und photogrammetrischer Aufnahme herzustellen. Für beide Aufgaben können Passpunkte auf der Objektoberfläche genutzt werden, aus denen – meist durch eine Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate – die Parameter der Bezugsfläche ermittelt werden[47]. Die verbleibenden Standardabweichungen der Parameter können herangezogen werden, um zu beurteilen, inwieweit die Bezugsfläche das durch die Passpunkte bestimmte Original repräsentiert. Für den geometrischen Bezug zwischen Original und photogrammetrischem Messbild sind im Gegensatz zur projektiven Transformation ebener Flächen auch die innere und äußere Orientierung der Aufnahme zu berechnen. Zweckmäßigerweise sollten sowohl die Koordinaten der Passpunkte wie die Orientierungsparameter der Aufnahmen im Rahmen einer so genannten Bündelausgleichung gemeinsam berechnet werden. Sind Lage und Form der Bezugsfläche und die Position der Messbilder bekannt, können aus den Bildkoordinaten (x_i, y_i) die Koordinaten auf der Bezugsfläche berechnet werden. Dies geschieht mathematisch nach den so genannten Kollinearitätsgleichungen und ist anschaulich in Abbildung 5.25 dargestellt:

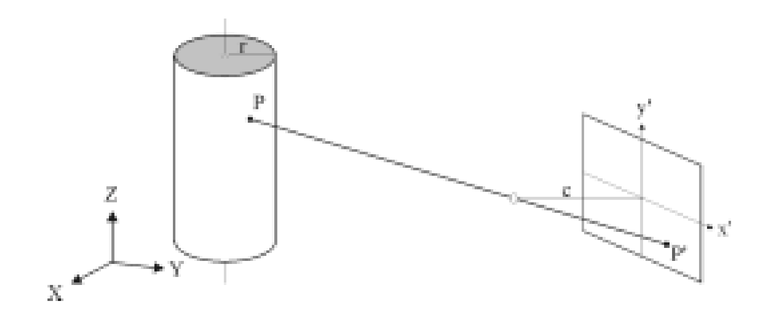


Abb. 5.25: Zusammenhang zwischen Bild- und Objektpunkt [nach KARRAS et al., 1996]

Bei bekannter innerer und äußerer Orientierung der Aufnahme wird durch die Bildkoordinaten (x_i, y_i) des Punktes Pi eine Raumgerade definiert. Diese Raumgerade schneidet die ebenfalls im übergeordneten Koordinatensystem bestimmte Bezugsfläche im gesuchten Punkt Pi, dessen dreidimensionale Koordinaten (X_i, Y_i, Z_i) leicht in zweidimensionale Koordinaten auf der Bezugsfläche umgerechnet werden können.

Das Vorgehen bei der Abwicklung ist nach Karras [KARRAS et al., 1996] genau in umgekehrter Reihenfolge auszuführen (Abb. 5.26):

Der zu entzerrende Abschnitt auf der Bezugsfläche wird in ein regelmäßiges Raster von Zeilen p und Spalten q eingeteilt. Dieses Pixel-Raster entspricht der abgewickelten Fläche, wobei über die Größe der Rasterelemente die Auflösung der abgewickelten Darstellung festgelegt wird. Jedem Pixelelement P(p, q) auf der Bezugsfläche kann eine dreidimensionale Koordinate P(X, Y, Z) zugeordnet werden. Durch Anwendung der Kollinearitätsgleichungen wird der entsprechende Punkt im photogrammetrischen Messbild gefunden P(x', y') und über eine Affintransformation die gesuchte Pixelkoordinate p(i, j) im vorliegenden digitalen Bild. Unter Verwendung des resampling-Verfahrens wird der Grauwert dieser Pixelkoordinate an das Pixelelement P(p, q) in der abgewickelten, ebenen Darstellung übergeben. So wird Pixel für Pixel das abgewickelte Bild aus dem photogrammetrischen Bild berechnet.

[47] vgl. Kap. 4.2.2, 'Abbildung auf Bezugsflächen'

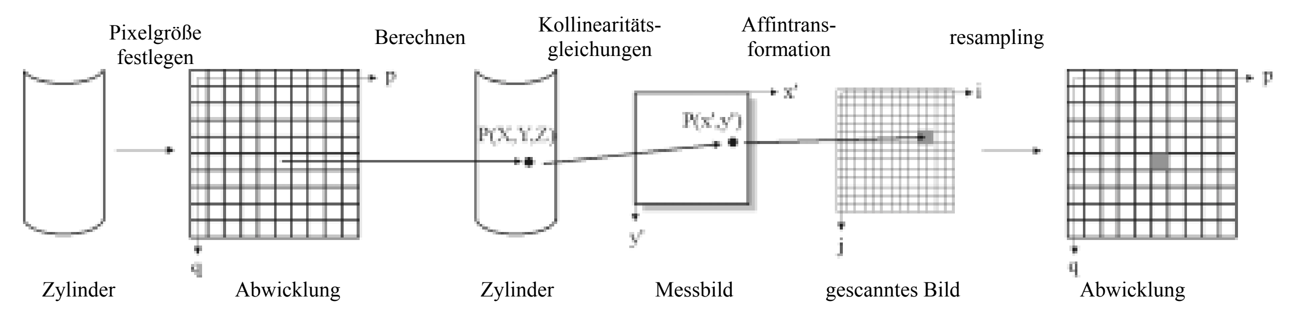
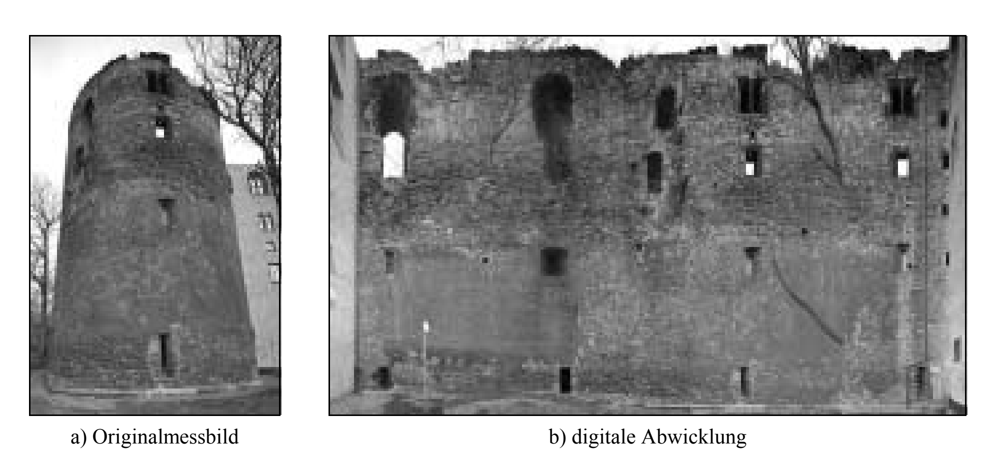


Abb. 5.26: Arbeitsablauf der digitalen Abwicklung [nach KARRAS et al., 1996]

Als ein Beispiel ist in der Abbildung 5.27 die Abwicklung des West-Turmes der Moritzburg in Halle dargestellt. Die Abwicklung erfolgte im Maßstab 1:50 auf der Grundlage von sieben Messbilder, die in höchster Auflösung (4096 x 6144 Pixel) gescannt wurden [HEMMLEB et al., 2001].



a) Originalmessbild b) digitale Abwicklung

Abb. 5.27: Digitale Abwicklung (Halle, Moritzburg, West-Turm) [HEMMLEB et al., 2001]

Abwicklungen unterliegen ebenso wie Entzerrungen Fehlereinflüssen durch außerhalb der Bezugsfläche liegende Objektbereiche. Diese Lagefehler in Folge von Oberflächenunebenheiten können bei der Abwicklung durch den Einsatz einer langen Kamerabrennweite minimiert werden.

5.3.2.3 Digitale kartographische Projektion

Weisen Bauwerke Kuppeln oder andere zweifach gekrümmte Oberflächen auf, ist eine Verebnung nicht mehr verzerrungsfrei durchzuführen. Eine Abbildung derartiger doppelt gekrümmter Bezugsflächen (Kugeln, Ellipsen) kann auf der Grundlage kartographischer Projektionen vorgenommen werden, bei denen Verzerrungsfreiheit nur im Differenziellen und maximal für eine Eigenschaft (längen,- flächen- oder winkeltreu) sicherzustellen ist.

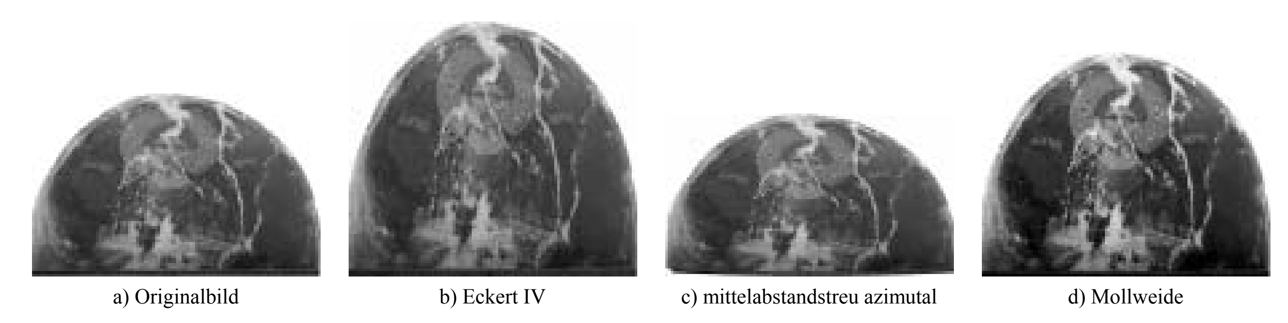
Die generelle Vorgehensweise unterscheidet sich nicht gegenüber dem Arbeitsablauf, der während einer Abwicklung ausgeführt wird. Zunächst sind Form und Lage der Bezugsfläche über Passpunkte zu ermitteln und die Orientierungsparameter der photogrammetrischen Aufnahmen zu ermitteln. Auf dieser Grundlage lassen sich über die Kollinearitätsgleichungen aus den Bildkoordinaten die gesuchten dreidimensionalen Punktkoordinaten auf der Bezugsfläche berechnen, die wiederum in sphärische oder ellipsoidische Koordinaten (φ, λ) transformiert werden können. Für die Übertragung in die ebene Darstellung sind jetzt die Abbildungsgleichungen der gewählten kartographischen Projektion anzuwenden.

Die tatsächliche Vorgehensweise zur Berechnung des ebenen Bildes erfolgt wieder in umgekehrter Reihenfolge:

- durch die gewählte Projektion werden die Pixelelemente des gesuchten Rasterbilder berechnet,
- jedem dieser Pixel wird durch Umkehrung der Projektion und der Kollinearitätsgleichungen eine Koordinate im ursprünglichen Messbild zugeordnet,
- aus dem ursprünglichen Bild wird über das Resampling der Grauwert in das entzerrte Rasterbild übertragen,
- soweit notwendig werden die Teilbereiche zu einem Gesamtbildmosaik verbunden.

Wie Abbildung 5.28 zu entnehmen ist, hängt das Ergebnis wesentlich von der gewählten kartographischen Abbildung ab. Die Entscheidung über die anzuwendende Abbildungsvorschrift kann nur unter Berücksichtigung des jeweiligen Verwendungszwecks erfolgen.

Flächengleiche Projektionen (z.B. Eckert IV, Abb. 5.28b) eignen sich besonders als Grundlage für die Materialberechnung für anstehende Restaurierungen. Bei der mittelabstandstreuen Abbildung lassen sich alle vom Mittelpunkt der Abbildung ausgehenden Strecken direkt und ohne Verzerrungen vergleichen (Abb. 5.28c), sodass z.B. untersucht werden kann, wie sich ein Schaden radial über ein Objekt ausgebreitet hat. Die vermittelnde, unechte Abbildung von Mollweide ist beinahe flächentreu und genähert mittelabstandstreu; daneben liegt ihr Vorteil in der guten optischen Übereinstimmung mit dem kugelförmigen Original (Abb. 5.28d).



a) Originalbild b) Eckert IV c) mittelabstandstreu azimutal d) Mollweide

Abb. 5.28: Kartographische Projektionen (Deckenmalerei der Protaton Kirche, Karyes, Griechenland) [KARRAS et al., 1997]

Die hier aus einer Anwendung von G. Karras [KARRAS et al., 1997] entnommenen Projektionen sind nur in ihrem beispielhaften Charakter zu verstehen. Für andere Aufgaben können andere Abbildungen mit weiteren Eigenschaften ebenso sinnvoll eingesetzt werden[48].

Alle aufgrund von kartographischen Projektionen entstandenen Rasterbilder sind nur bedingt für metrische Auswertungen höchster Genauigkeit zu nutzen. Selbst wenn das Objekt keine Abweichungen von der Bezugsfläche aufweist, wirken sich zumindest die durch die Projektionsart verursachten Verzerrungen auf jede metrisch quantifizierende Auswertung aus.

5.3.2.4 Differentielle Entzerrung

Die in den vorausgegangenen Kapiteln behandelten Entzerrungsmethoden lassen sich auf Objekte anwenden, die durch ebene, einfach und doppelt gekrümmte Bezugskörper repräsentiert werden können. Nicht immer ist damit die Geometrie des zu untersuchenden Bauaufnahmeobjekts vollständig zu beschreiben, sodass ergänzende Methoden in Betracht zu ziehen sind.

Um von völlig unregelmäßig aufgebauten Objektoberflächen entzerrte fotografische Darstellungen ableiten zu können, ist eine Strategie anzuwenden, bei der eine Oberfläche soweit in kleinere Teile zerlegt wird, bis sie wieder innerhalb einer Fehlertoleranz durch eine bekannten Flächentyp beschrieben werden kann. Diese auch als differentielle Entzerrung bekannte Zerlegung wird zur Herstellung von Orthophotos aus Luftbildern seit mehr als zehn Jahren standardmäßig eingesetzt[49] [KRAUS, 1990].

[48] Für weitere kartographische Abbildungen vgl. [HAKE, GRÜNREICH,1994; ROBINSON et al., 1995]. Die Anwendung auf die Abwicklung von Kuppeln mit weiteren Beispielen wird auch bei [GUERRA, MINIUTTI, 2000] behandelt.

[49] In diesem Zusammenhang wird für eine parallel in die Grundrissebene projizierte Entzerrung der Begriff 'Orthophoto' benutzt.

Grundlage der differentiellen Entzerrung ist – wie bei jeder Einbildauswertung – eine geometrische Beschreibung der Oberfläche, die in Form eines so genannten Digitalen Oberflächenmodells (DOM) vorgenommen wird (Abb. 5.29).

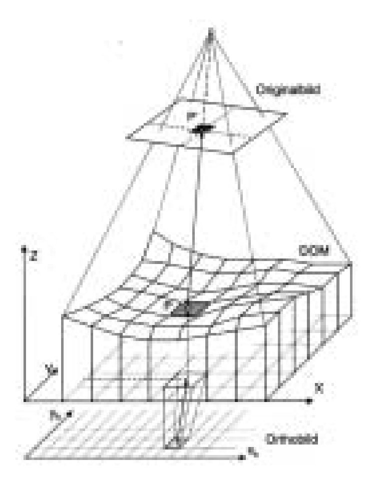


Abb. 5.29: Differentielle Entzerrung [nach LUHMANN, 2000]

Innerhalb des DOM werden die Objektpunkte durch die Grundrisskoordinaten auf der Bezugsfläche und senkrecht auf der Bezugsfläche stehende Höhenwerte beschrieben. Damit entsteht eine dreidimensionale Beschreibung der Objektoberfläche in Form von Vier- oder Dreiecksnetzen, deren Auflösung entsprechend der Unregelmäßigkeit der Originaloberfläche gewählt werden muss. Mit bekannter Bezugsfläche und orientierten Messbildern kann dann prinzipiell wie bei allen anderen Verfahren eine Entzerrung ausgeführt und ein Orthophoto berechnet werden[50].

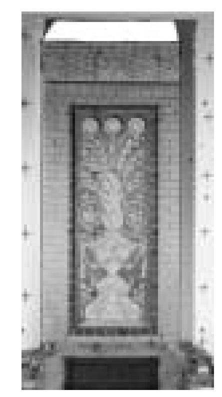
Zur direkten Erzeugung hochauflösender, digitaler Oberflächenmodelle können die nach dem tachymetrischen Prinzip arbeitenden Laserscanner für Nahbereichsanwendungen eingesetzt werden[51]. Aufgrund der geringen Reichweite sind ausschließlich kleinere Objekte wie einzelne Räume, kleinere Fassadenabschnitte, Statuen oder Reliefs zu erfassen. Hierbei ist eine Auflösung und Genauigkeit im Millimeterbereich zu erzielen, sodass photogrammetrische Aufnahmen hoher Auflösung mit großer Genauigkeit zu entzerren sind.



a) photogrammetrische Aufnahme



b) Oberflächenmodell aus Laserscannerdaten, Tiefeninformation in Grauwerten codiert



c) Parallelprojektion

Abb. 5.30: Entzerrung auf der Grundlage von Laserscannerdaten [WEHR, WIEDEMANN, 1999]

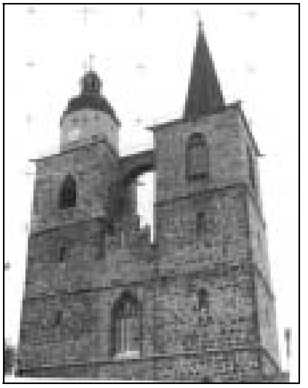
[50] z.B. mit dem Programm PICTRAN-O [PICTRAN, 2001]

[51] Vgl. Kap. 5.2.4, 'Scannende tachymetrische Verfahren' sowie [WEHR, 2001]. Die Verwendung des so genannten photogrammetrischen matchings zur Berechnung eines digitalen Oberflächenmodells führt bei Architekturanwendungen aufgrund der Unstetigkeitsstellen an Ecken und Kanten nicht zu akzeptablen Ergebnissen [WIEDEMANN, 1997].

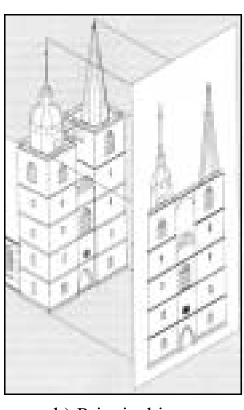
Die in Abbildung 5.30 präsentierte Entzerrung auf der Grundlage von Laserscannerdaten wurde von A. Wehr und A. Wiedemann in einem gemeinsamen Projekt erstmals vorgestellt [WEHR, Wiedemann, 1999]. Innerhalb dieses Projektes konnten die Möglichkeiten der kombinierten Anwendung von Laserscannerdaten und photogrammetrischen Bildern generell und besonders zur parallel projizierten Entzerrung von fein strukturierten Oberflächen demonstriert werden.

Das digitale Oberflächenmodell kann weiterhin aus vorhandenen CAD-Datenmodellen abgeleitet werden. Vielfach liegen CAD-Modelle aus bestehenden Planungsunterlagen, geodätischen oder stereoskopisch photogrammetrischen Messungen vor. Die Geometrieinformation von Oberflächenmodellen kann einerseits für eine Entzerrung auf eine, fest im Raum definierte Bezugsebene genutzt werden (Abb. 5.31). Diese Entzerrung entspricht der Abbildung in Schnittebenen und hat entsprechende Verzerrungen von nicht zur Bezugsebene parallelen Objektbereichen zur Folge[52].

Diese Methode ist von A. Wiedemann entwickelt und am Beispiel der Kirche von Jüterbog exemplarisch ausgeführt worden [WIEDEMANN, 1997]. Die an der Kirche von Jüterbog praktizierte Kombination von digitalem Oberflächenmodell eines CAD-Datensatzes mit photogrammetrischen Methoden kann nicht nur wie hier dargelegt für die orthogonale Parallelprojektion auf eine Bezugsfläche genutzt werden, sondern ebenso für Abwicklungen und kartographische Projektionen differenziert strukturierter Objekte. Dabei wird die dreidimensionale Oberflächeninformation des CAD-Modells als Bezugsfläche angenommen, sodass die Abwicklung bzw. kartographische Projektion wie üblich durchzuführen ist.




a) Originalaufnahme


b) Prinzipskizze

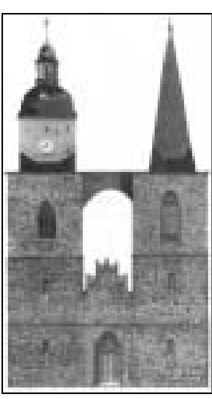
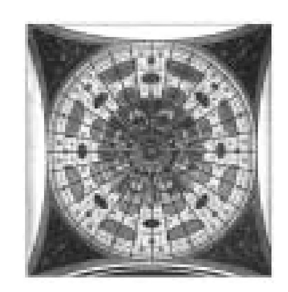

c) orthogonale Abbildung

Abb. 5.31: Orthogonale Abbildung in eine Ebene auf der Grundlage eines CAD-Oberflächenmodells [WIEDEMANN, 1997]

Eine weitere Methode der Verebnung auf Grundlage von CAD-Geometriemodellen wird von U. Schulz [SCHULZ, 2001] vorgestellt. Hierbei wird das Objekt in ein Gitternetz unterteilt, um anschließend jede Masche des Netzes mit einer projektiven Transformation in die Ebene entzerren zu können (Abb. 5.32).


a) Originalbild mit Maschennetz


b) maschenweise projektive Entzerrung

Abb. 5.32: Ebene Darstellung einer Kuppel durch maschenweise projektive Transformation [SCHULZ, 2001]

[52] vgl. Kap. 4.2.2, 'Abbildung auf Bezugsflächen' und Abb. 4.7a

Die Eckpunkte der Maschen werden nach den Kollinearitätsgleichungen vom CAD-Modell in die Bilder zurückgerechnet. Die Maschenweite ist hierbei so groß zu wählen, dass die durch die Annahme einer theoretischen Ebene gegenüber der tatsächlichen Form (Kugel) verursachten Fehler in der ebenen Darstellung unter einem festgelegten Grenzwert (hier 1 cm) bleiben.

Da Oberflächenbeschreibungen in Form von Maschenbildung, speziell durch die so genannte Dreiecksvermaschung, häufig anzutreffen sind, kann durch dieses Verfahren jede beliebig strukturierte Oberfläche abgewickelt werden.

5.3.2.5 Anwendungspotenziale der Einbildauswertung

Die Einbildauswertung wird in ihrem Leistungsvermögen für die Bauaufnahme ebenso häufig über- wie unterschätzt. Bei angepasster, fachgerechter Anwendung der beschriebenen Einbildverfahren sind insbesondere die flexiblen digitalen Entzerrungsmethoden in der Lage, mit wenig Aufwand eine geometrisch korrekte, bildhafte Darstellung dem Nutzer zur Verfügung zu stellen.

Die Verbindung der hohen Informationsdichte bildhafter Darstellungen mit der einfachen geometrischen Auswertbarkeit ist nicht nur wesentliches Merkmal der Einbildauswertung, sie ist vielmehr das entscheidende Kriterium für eine erfolgreiche Anwendung aller Einbildmethoden. Nur wenn beide Eigenschaften gleichermaßen für das Erreichen des Modellierungszweckes notwendig sind, sollte auf Entzerrung, Abwicklung oder kartographische Projektion als geometrisches Modellierungsverfahren zurückgegriffen werden.

Im besonderen Maße werden beide Eigenschaften benötigt, wenn offensichtliche Oberflächeninformationen für eine weitergehende Auswertung schnell und einfach, ohne vertiefende inhaltliche Auseinandersetzung, aber mit geometrischer Richtigkeit erfasst werden sollen. Wenn also die entzerrte Darstellung entweder geometrisch korrekte Dokumentationsmethode oder Grundlage einer weitergehenden Kartierung sein soll. Typisches Beispiel einer sinnvollen Dokumentationsanwendung ist die Erfassung der Fassaden ganzer Straßenzüge für Denkmalinventare, städtebauliche Analysen oder ähnliche Aufgabenstellungen. Gerade für die denkmalpflegerischen Untersuchungen bleiben die Möglichkeiten der einfachen photogrammetrischen Entzerrungsverfahren weitgehend ungenutzt. In diesen Bereichen wurden und werden zwar vielfältige fotografische Aufnahmen zur baugeschichtlichen oder typologischen Dokumentation angefertigt, aber photogrammetrische Entzerrungen werden noch viel zu selten in die Inventare aufgenommen. Dabei sind gerade die kommerziellen Entzerrungsprogramme der projektiven Transformation so einfach zu handhaben, dass sie auch ohne vertiefendes photogrammetrisches Vorwissen erfolgreich eingesetzt werden können. Ebenso einfach und effektiv kann die projektive Entzerrung zur Schadenskartierung ebener Objekte eingesetzt werden.

Besonders bei restauratorischen Fragestellungen werden entzerrte Darstellungen vermehrt als Kartierungsgrundlage verwendet (vgl. Abb. 4.19, 5.28). Dies geschieht jedoch meist unter Beteiligung photogrammetrischer Experten, da hier neben den ebenen Objekten vielfach auch alle anderen Oberflächenformen zu dokumentieren sind. Für Abwicklungen, Projektionen oder differentielle Entzerrungen sind aber, wie in den entsprechenden Kapiteln dargelegt, umfangreiche geodätische und photogrammetrische Arbeiten notwendig, die nicht für jeden Anwendungsfall zu standardisieren sind und deshalb jedes Mal individuell angepasst werden müssen.

Für eine geometrische Auswertung unter höchsten Genauigkeitsansprüchen sind die Methoden der Entzerrung nur bedingt einzusetzen. Auch wenn alle Auswerteschritte mit höchster Präzision und Sorgfalt ausgeführt werden können, ist damit keine Gewähr für eine ebenso hohe geometrische Genauigkeit in der entzerrten Darstellung gegeben, weil nicht mit gleicher Zuverlässigkeit zu garantieren ist, dass das Original der gewählten Bezugsfläche entspricht. Die Lage und Form der Bezugsfläche wird abgeleitet aus wenigen Stützpunkten, die bei ausreichender Anzahl zwar eine Aussage über die Genauigkeit zulassen, von denen aber nicht automatisch auf die Originaloberfläche geschlossen werden kann. Abweichungen von der Bezugsfläche sind vor Ort zu erkennen, sofern es sich um Ausbrüche, Schäden oder ähnliche Unregelmäßigkeiten handelt. In der zweidimensionalen Fotografie lassen sich jedoch diese Objektbereiche nicht immer zweifelsfrei identifizieren, die Folge sind unbemerkte Lagefehler in der entzerrten Darstellung. Um diese vermeidbaren Fehlereinflüsse auszuschließen, sollte bereits vor Ort eine skizzenhafte Erfassung aller Unregelmäßigkeiten der Objektoberflächen vorgenommen werden.

Weit schwieriger sind lokale Deformationen wie Ausbeulen von Ebenen oder wechselnde Radien in Kuppeln wahrzunehmen, die vielfach am Objekt visuell überhaupt nicht zu erkennen sind. Um derart unregelmäßig aufgebaute Objekte durch eine Bezugsfläche geometrisch beschreiben zu können, muss das Oberflächenmodell eine hohe Auflösung aufweisen. Gerade deshalb stellt die Kombination von hochauflösenden dreidimensionalen Geometriedaten, wie sie von Laserscannern erzeugt werden, mit fotografischen Abbildungen eine zukunftsweisende Methode dar.

Die Kombination von entzerrten Darstellungen mit 3D-CAD-Modellen wird vor allem für Visualisierungsaufgaben verstärkt genutzt werden. Hierbei wird die Weiterentwicklung der CAD- und Entzerrungsprogramme neue Möglichkeiten bieten, die einer einfachen Integration von Entzerrungen in CAD-Datenmodelle dienen können. In der Verbindung von CAD-Daten mit Entzerrungen können der Einbildauswertung neue Anwendungsgebiete erschlossen werden, auch weil die Vertrautheit der Anwender mit diesen Systemen immer weiter zunehmen wird.

In den wenigsten Anwendungsgebieten wird die Entzerrung das einzige Endergebnis des Arbeitsprozesses bilden[53]. Die entzerrte Darstellung ist eine Stufe am Anfang der Abfolge von vielfältigen Modellierungsschritten, die normalerweise im Rahmen von Bauaufnahmen durchzuführen sind. Entzerrungen können dabei auch als Vorprodukte bezeichnet werden, weil mit ihnen noch keine inhaltliche Auswertung, keine bewusste Auswahl von Objektattributen vorgenommen worden ist. Im Gegensatz zu Strichzeichnungen sind eine Fülle von Informationen in der bildhaften Darstellung enthalten, die unter verschiedenen Fragestellungen bewertet werden können. Der Informationsgehalt ist aber bedingt durch die zweidimensionale fotografische Abbildung gegenüber dem Original reduziert. Diese Einschränkung bedeutet aber nur, dass die Methode vor dem Hintergrund des jeweiligen Modellierungszweckes zu bewerten und daraufhin angepasst einzusetzen ist. Für die oben beschriebenen Anwendungen in Inventarisierung, Typologie, etc. sind vielfach nur stilbildende Bauwerkselemente zu erfassen, die jeder photogrammetrischen Aufnahme zu entnehmen sein sollten. Aber selbst wenn der Informationsgehalt der entzerrten Darstellung für die Anwendung nicht ausreicht, kann der Einsatz dieser Verfahren dennoch sinnvoll sein, sofern hierdurch eine Grundlage für weitergehende Kartierungen bereitgestellt werden soll. In diesen Fällen muss eine inhaltliche Auseinandersetzung unter fachlichen Gesichtspunkten generell im Angesicht des Objektes erfolgen, sodass Ergänzungen während dieses Arbeitsschrittes problemlos nachgetragen werden können. Die Auswertung vor Ort ist dann aber nicht mehr so arbeits- und zeitintensiv, weil auf den geometrischen Rahmen der vorliegenden Entzerrung zurückgegriffen werden kann.

Nochmals soll hier auf ein Problem hingewiesen werden, das schon unter dem Stichwort 'Darstellungsmaßstab' dargelegt worden ist[54]: Für Kartierungsaufgaben müssen häufig viele Informationen in die geometrische Grundlage eingetragen werden. Oft wird deshalb ein großer Maßstab gewählt, der aber nicht den sonstigen geometrischen Anforderungen entspricht, sodass die Darstellung eine geometrische Genauigkeit vortäuscht, die aber tatsächlich nicht sicherzustellen ist. Um einen kleinen geometrischen Maßstab wählen und gleichzeitig viele Informationen aufnehmen zu können, ist eine Trennung während der Erfassung in verschiedene Ebenen nützlich. Dies kann sowohl durch mehrere Blätter geschehen als auch bei direkter rechnergestützter Kartierung in CAD-Systemen durch Verwendung von unterschiedlichen Layern. Hierdurch kann auch eine Kombination der linienhaften inhaltlichen Auswertung mit der entzerrten bildhaften Darstellung optimal realisiert werden [HEMMLEB et al., 2001].

Soll im Rahmen der Bauaufnahme eine forschende Auseinandersetzung mit dem Objekt erfolgen, so sind entzerrte Darstellungen unter besonderem Vorbehalt einzusetzen. Es darf hierbei nicht die 'faktische Kraft' einer bildhaften Darstellung unterschätzt werden, durch die unter Umständen eine vertiefende Auseinandersetzung mit dem Baukörper erschwert wird. Insbesondere gilt für bauforschende Fragestellungen, dass der Wert von Entzerrungen nur in Kombination mit anderen Methoden optimal genutzt werden kann.

Für die Bauforschung wie für die Denkmalpflege ist eine Verwendung von entzerrten Darstellungen als Kartierungsgrundlage im so genannten Raumbuch in Erwägung zu ziehen. Die im Raumbuch zu erfassen-

[53] Die unstrukturierte bildhafte Darstellung ist in der Regel nicht in der Lage, die wesentlichen Aussagen der Bauaufnahme zu vermitteln und weist somit keinen Nutzen für den Modellierungszweck auf, vgl. Kap. 4.3, 'Datenstrukturierung und -darstellung', Abb. 4.13.

[54] vgl. Kap. 4.1, 'Maßstab und Genauigkeit der Bauaufnahme'

den inhaltlichen Bauwerksattribute können beim Einsatz von Entzerrungen in ihrer geometrischen Position genauer festgelegt und zugeordnet werden, als dies in den vielfach angefertigten Skizzen des konventionellen Raumbuches geschieht (vgl. Abb. 3.7). Auch wenn an den Wänden Ausbrüche, Deformationen oder kleine Vorsprünge auftreten, ist die ebene Entzerrung für diesen Zweck in den meisten Fällen ausreichend genau. Gleichzeitig kann die ebene Entzerrung aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten in Konkurrenz zur skizzenhaften Erfassung treten.

Während der Bauaufnahme großer Objekte oder ganzer Ensembles lassen sich Entzerrungen ebenfalls einsetzen, um Bereiche darstellen zu können, die nicht im Detail erfasst und untersucht werden sollen. Besonders wenn Überblicksdarstellungen kleiner Maßstäbe oder 3D-Visualisierungen zu erstellen sind, bieten die Entzerrungen effiziente Lösungsmöglichkeiten zur Kombination von geometrischen mit bildhaften Daten.

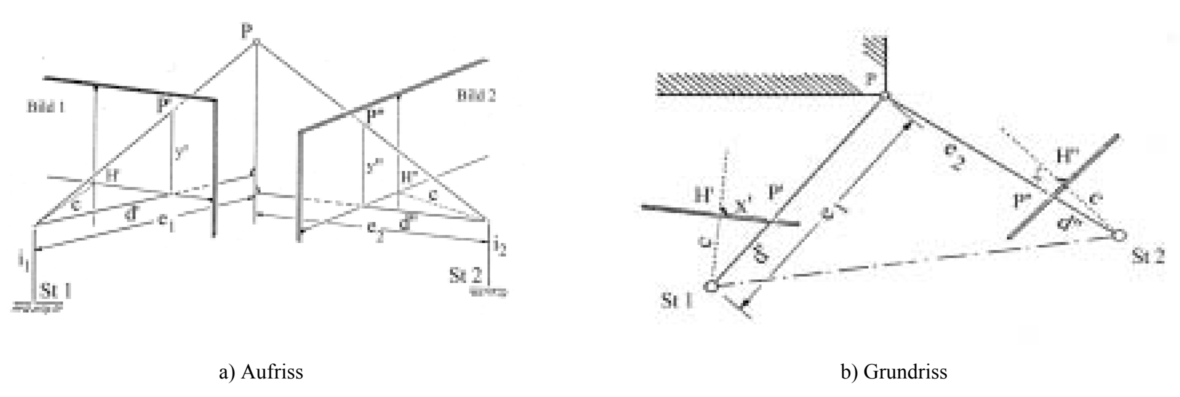
5.3.3 Zweibildauswertung

Typisches Endprodukt der im vorausgegangenen Kapitel dargelegten Methoden der Einbildphotogrammetrie sind zweidimensionale bildhafte Darstellungen, die mit Ausnahme der geometrischen Umbildung zur Herstellung der korrekten metrischen Eigenschaften keiner weiteren Auswertung im Verlauf der photogrammetrischen Modellierung unterzogen werden müssen. Die eigentliche inhaltliche Auswertung findet nach Abschluss der photogrammetrischen Bearbeitung statt. Von dieser Strategie der Modellbildung unterscheiden sich alle stereophotogrammetrischen Ansätze sowohl in der Vorgehensweise wie in der Form des Ergebnisses. Indem die inhaltliche Auswertung während des photogrammetrischen Arbeitsvorganges durchgeführt wird, erfolgt durch Interpretation des photogrammetrischen Auswerters eine Reduktion der hohen Informationsdichte der Messbilder auf ein meist linienhaftes, dreidimensionales Modell.

Jedes Objekt beliebiger Form kann auf der Grundlage von zwei Bildern dreidimensional erfasst werden, ohne dass im Vorhinein eine Kenntnis über die geometrische Oberflächenform notwendig ist. Die von den jeweiligen Bildpunkten P' (x', y') und P'' (x'', y'') durch die Projektionszentren ausgehenden Raumgeraden schneiden sich im Objektpunkt P (Abb. 5.33, 5.35a). Generell ergibt sich durch das Verwenden von zwei Bildern zur Berechnung der Koordinaten von P eine eindeutige Lösung, die aber nicht so umfassend und praktikabel wie bei Anwendung der Mehrbildphotogrammetrie kontrolliert werden kann[55]. Sofern die äußere Orientierung der Bilder im übergeordneten Koordinatensystem ermittelt worden ist, lassen sich die dreidimensionalen Koordinaten X, Y, Z von P sowohl grafisch wie rechnerisch als auch durch das stereoskopische Messprinzip bestimmen.

5.3.3.1 Messtischverfahren

Die grafische Auswertung zweier Messbilder durch Umkehrung der Zentralperspektive mittels grafischer Konstruktion ist schon von A. Meydenbauer eingesetzt worden, um Architekturobjekte aus Fotografien zu rekonstruieren (Abb. 5.33).



a) Aufriss b) Grundriss

Abb. 5.33: Messtischphotogrammetrie [verändert nach WEIMANN, 1988]

[55] Es besteht eine Kontrollmöglichkeit über die y-Parallaxe, aber keine über die Tiefenkomponente.

Diese als so genannte Messtischphotogrammetrie bekannte grafische Lösung stellte in den Anfängen der Photogrammetrie die einzig praktikable Auswertemöglichkeit dar[56]. Mit den heutigen rechentechnischen Möglichkeiten lassen sich die Schnittpunktkoordinaten sehr einfach aus den Bildkoordinaten berechnen, sodass diese Methode in der Mehrbildphotogrammetrie eine unerwartete Renaissance erfahren hat. Zur Anwendung der grafischen wie der rechnerischen Lösung muss der Messpunkt in beiden Bildern eindeutig zu identifizieren sein. Demnach sind hierdurch nur Oberflächen auszuwerten, die eine strukturierte, kontrastreiche Oberfläche aufweisen. Die Zuordnung dieser homologen Punkte kann dabei durch einen Auswerter optisch in den jeweiligen Bildern des Bildpaares erfolgen oder im Falle von digitalen Bilddaten automatisch durch Anwendung von Bildverarbeitungsalgorithmen. Diese merkmalsbasierte Zuordnung lässt sich als Sonderfall der Mehrbildphotogrammetrie ansehen, da hier generell mit den allgemeinen Formeln der Kollinearitätsgleichungen gearbeitet wird[57].

5.3.3.2 Stereoskopische Auswertung

Eine hohe Effektivität erreicht die Zweibildauswertung, wenn zur Punktbestimmung statt der Messtischphotogrammetrie das so genannte stereoskopische Messprinzip eingesetzt wird. Hier kann die Fähigkeit des menschlichen Auges zum dreidimensionalen Sehen für die Objektvermessung genutzt werden. Das natürliche dreidimensionale Sehen wird durch den menschlichen Augenabstand von ca. 65 mm ermöglicht, der dafür sorgt, dass ein Punkt während der Betrachtung an unterschiedlichen Positionen auf der Netzhaut des linken und des rechten Auges abgebildet wird (Abb. 5.34).

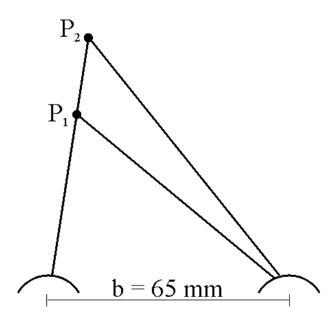


Abb. 5.34: Natürliches räumliches Sehen

Wie Abbildung 5.34 schematisch zeigt, werden zwei Punkte (P_1, P_2), die vom linken Auge aus gesehen auf einer Geraden liegen und somit an der selben Position auf der Netzhaut dieses Auges abgebildet werden, im rechten Auge an unterschiedlichen Positionen wahrgenommen. Diese durch den Augenabstand verursachte Parallaxe ermöglicht die relative dreidimensionale Zuordnung der beiden Punkte in der Natur.

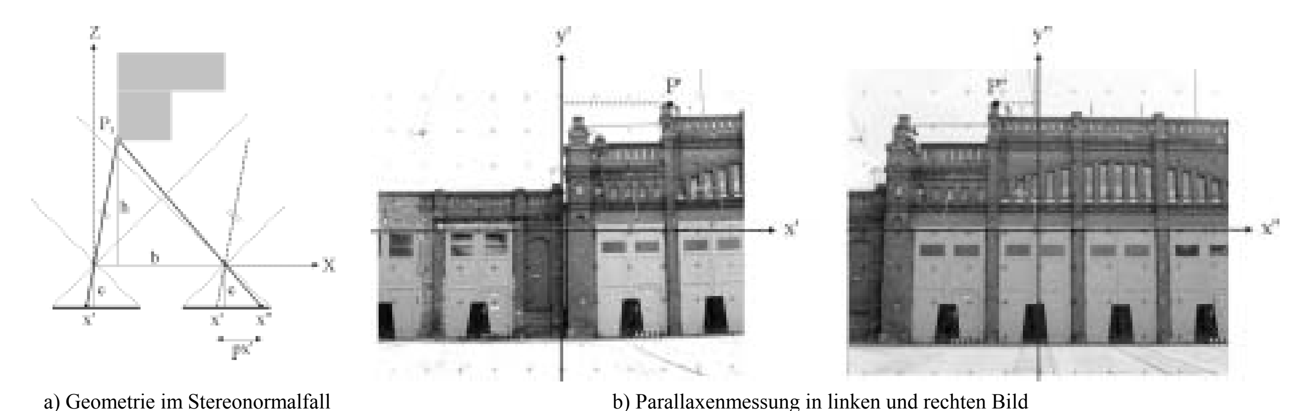
Das stereoskopische Sehen ist nicht nur in der Natur zur dreidimensionalen 'Vermessung' einzusetzen, sondern kann ebenso auf die Auswertung fotografischer Bilder angewendet werden. Sind zwei Aufnahmen des gleichen Objektes von unterschiedlichen Standpunkten und mit paralleler Aufnahmerichtung aufgenommen worden (Abb. 5.17b, 5.35a), können diese Bilder des so genannten Stereonormalfalls mit stereoskopischen Auswertegeräten ausgemessen werden.

Um in einem stereoskopischen Modell den dreidimensionalen Raumeindruck herstellen zu können, muss das linke Auge ausschließlich das linke Bild und das rechte das rechte Bild betrachten. Für diese Bildtrennung werden unterschiedliche Prinzipien eingesetzt wie die Betrachtung durch getrennte Okulare im Spiegelstereoskop der analogen und analytischen Auswertegeräte, die Farbtrennung in Rot und Grün bei

[56] Hierfür vgl. z.B. [WEIMANN, 1988]; ergänzend sei auf das sehr einfach auszuführende Verfahren der Papierstreifenmethode hingewiesen, das sich zur Kartierung von Einzelpunkten ausschließlich mit Maßstab und Bleistift eignet. Die Papierstreifenmethode benötigt im Gegensatz zur Messtischphotogrammetrie keine Informationen über die äußere und innere Orientierung, da sie von der projektiven Beziehung ebener Punktfelder Gebrauch macht.

[57] vgl. Kap. 5.3.4, 'Mehrbildauswertung'

der Anaglyphenbrille sowie durch so genannte Shutter- oder Polarisationsbrillen[58], die für digitale stereoskopische Auswertungen überwiegend verwendet werden [DONEUS, HANKE, 1999]. Nachdem die absolute Orientierung der beiden Aufnahmen hergestellt worden ist und dadurch die geometrische Situation zum Zeitpunkt der Aufnahme rekonstruiert wurde, kann nicht nur das Bauaufnahmeobjekt dreidimensional betrachtet werden, sondern ebenfalls eine im Modell angeordnete Messmarke. Damit ermöglicht das dreidimensionale stereoskopische Modell eine 'realitätsnahe' Betrachtung des Objektes und darüber hinaus wird ein Werkzeug bereitgestellt, um Messungen zur Geometriemodellierung auszuführen zu können.



a) Geometrie im Stereonormalfall b) Parallaxenmessung in linken und rechten Bild

Abb. 5.35: Stereoskopisches Messprinzip [verändert nach LUHMANN, 2000]

Für den Stereonormalfall lassen sich die geometrischen Verhältnisse der stereoskopischen Messung nach Abbildung 5.35a leicht herleiten [LUHMANN, 2000]: Sofern zwei identische Kameras rechtwinklig zur Stereobasis ausgerichtet worden sind, können bezogen auf ein im linken Projektionszentrum angeordnetes dreidimensionales Koordinatensystem die Punktkoordinaten von P ermittelt werden. Die parallel zur Bildebene verlaufenden Koordinaten (X, Y) lassen sich direkt über den Bildmaßstab (m_b) aus den gemessenen Bildkoordinaten (x', y') berechnen:

$$X = \frac{h}{c} \cdot x' = m_b \cdot x' \ , \qquad Y = \frac{h}{c} \cdot y' = m_b \cdot y' \ .$$

Die Z-Koordinate, die bei dem hier gewählten Koordinatensystem identisch mit der senkrecht zur Aufnahmebasis stehenden Aufnahmeentfernung (h) ist, kann aus dem Maßstab, der Bildbasis sowie den gemessenen Bildkoordinaten x' und x'' abgeleitet werden:

$$\frac{h}{c} = \frac{b}{x'-x''} = m_b \quad \text{und für} \quad Z = h = \frac{b \cdot c}{x'-x''} = \frac{b \cdot c}{px'} \ .$$

Da Aufnahmebasis (b) und Kamerakonstante (c) konstante Größen sind, hängt die Höhe in diesem Modellkoordinatensystem nur von der zu messenden x-Parallaxe (px') ab. Somit lässt sich aus den gemessenen Bildkoordinaten x' und x'' die Höhe im stereoskopischen Modellkoordinatensystem direkt berechnen.

In den analogen, analytischen und digitalen Auswertegeräten wird auf Grundlage dieser Formeln die stereoskopische Modellauswertung mit der räumlich zu betrachtenden Messmarke vorgenommen. Während der Betrachtung im stereoskopischen Bildmodell werden die im linken und rechten Bild eingespiegelten Messmarken solange als zwei Marken vom Auge wahrgenommen, wie sich diese nicht am gleichen Objektpunkt P befinden. Liegt die Marke sowohl im linken wie auch im rechten Bild sehr dicht an der Abbildung des Objektpunktes (Abb. 5.35b), so 'verschmelzen' beide Messmarken optisch und vom Beobachter ist nur noch eine Messmarke wahrzunehmen. Da sich die Messmarke im dreidimensionalen Raum bewegt, ist diese auch dann noch vom Betrachter als ein Objekt im dreidimensionalen Modell wahrzunehmen, wenn das Objekt keine sichtbaren Strukturen aufweist. Wird vom Betrachter im linken wie im rechten Auge exakt der identische Punkt des Objektes gesehen, dann hat der Auswerter den

[58] Hierbei werden die beiden Bilder vom Computerbildschirm entweder frequenzgesteuert oder polarisiert ausgesendet und können mit der entsprechenden Brille betrachtet werden [LUHMANN, 2000]. Eine Betrachtung ganz ohne Hilfsmittel (autostereoskopisch) ermöglicht der an der TU Dresden entwickelte stereoskopische Bildschirm [BUCHROITHNER, 1998; D4D, 2001].

Eindruck, als befinde sich die Messmarke direkt auf der Objektoberfläche. Oft wird bei diesem Verfahren auch vom 'Aufsetzen' der Messmarke auf die Objektoberfläche gesprochen. Zu diesem Zeitpunkt werden die Bildkoordinaten zwischen der beiden Bildpunkten gemessen, die x-Parallaxe berechnet, um abschließend hieraus die Objektpunktkoordinaten ableiten zu können.

Damit der stereoskopische Eindruck weitgehend störungsfrei zu beobachten ist, müssen nicht nur die Aufnahmerichtungen nahezu parallel ausgerichtet sein, vielmehr sollten die Bilder die gleichen Maßstäbe besitzen und das Verhältnis von Bildbasis zur Aufnahmeentfernung darf einen Wert von 1:30 nicht unterschreiten[59]. Da jedoch Architekturobjekte oft in der Tiefe gestaffelt sind, ist besonders die Forderung nach gleichen Maßstäben nicht immer zu erfüllen. Vielfach herrschen während der photogrammetrischen Aufnahme beengte räumliche Verhältnisse, sodass eine effektive Erfassung mit parallel ausgerichteten Aufnahmen nicht immer zu gewährleisten ist. Diese Schwierigkeiten sowie die in früheren Zeiten sehr teuren Auswertegeräte, die zudem nur von Spezialisten eingesetzt werden konnten, haben in der Vergangenheit die Akzeptanz der stereoskopischen Messungen stark behindert.

Dies gilt besonders für die Anfangszeit der Stereophotogrammetrie[60], in der Aufnahmen ausschließlich im Stereonormalfall ausgewertet werden konnten. Bei den damals zur Verfügung stehenden analogen Auswertegeräten wurde die Zeichnung sofort über mechanische Gelenke maßstäblich kartiert. Die seit den siebziger Jahren eingesetzten analytischen Auswertegeräte erlauben eine flexiblere Aufnahmegeometrie, da Maßstabsunterschiede korrigiert werden können und auch konvergente Aufnahmen auszuwerten sind. Als Ergebnis werden dreidimensionale Koordinaten erzeugt, die leicht in CAD-Systeme zu integrieren sind. Aufgrund des hohen Anschaffungspreises und der auch hier notwendigen photogrammetrischen Spezialkenntnisse wird die analytische Photogrammetrie nur selten als Standardverfahren in der Bauaufnahme eingesetzt.

Besonders flexibel sind die digitalen photogrammetrischen Auswertestationen zu handhaben, weil für deren Anwendung so gut wie keine Einschränkungen in der Aufnahmedisposition zwingend einzuhalten sind. Kann aufgrund der örtlichen Gegebenheiten keine parallele Aufnahmerichtung realisiert werden, lassen sich aus digitalen konvergenten Stereoaufnahmen bei bekannter äußerer Orientierung die so genannten Normalbilder des Stereonormalfalls berechnen [LUHMANN, 2000]. Die geometrische Umrechnung vom konvergenten in das Normalbild erfolgt unter Verwendung der Kollinearitätsgleichungen, die Neuzuordnung der Grauwerte wird über das resampling-Verfahren (Abb. 5.22) vorgenommen. Somit können aus nahezu beliebig angeordneten Aufnahmen Normalbilder für eine stereoskopische Auswertung erzeugt werden.

5.3.3.3 Anwendungspotenziale der stereoskopischen Auswertung

Die Leistungsfähigkeit des stereoskopischen Messprinzips zur geometrischen Auswertung kann immer dann besonders effektiv genutzt werden, wenn Oberflächen zu erfassen sind, auf denen natürlichen Punkte nicht zweifelsfrei identifiziert werden können, aber dennoch eine dreidimensionale Auswertung erfolgen soll. Wenn die Einbildauswertung aufgrund ihrer zweidimensionalen Ergebnisse nicht angewendet werden kann und die Mehrbildauswertung wegen der fehlenden homologen Punkte nicht durchführbar ist, bietet die Stereophotogrammetrie ein flexibles Auswerteverfahren zur zwei- und dreidimensionalen Oberflächenerfassung. Typische Anwendungsfälle der stereophotogrammetrischen Bauaufnahme sind die linienhafte Erfassung räumlich stark gegliederter oder mit viel Bauornamentik ausgestalteter Bauwerke. Beispiele für die stereoskopische Erfassung von besonders reich gestalteten Fassaden (Abb. 5.36) für die unterschiedlichsten Verwendungszwecke sind vielfach zu finden [z.B. BALETTI, 1997; ECKSTEIN, 1986; MESSBILDSTELLE, 2001; WEIMANN, 1988].

---

59 Der Wert von 1:30 kann als Richtgröße für eine sehr gute Betrachtung von Architekturobjekten angesehen werden [POMASKA, 2001a]. Für Messzwecke ist aufgrund der Abwägung zwischen Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit ein Verhältnis zwischen 1:5 und 1:15 einzuhalten [CIPA, 1982].

60 Das erste stereoskopische Auswertegerät wurde 1901 von C. Pulfrich entwickelt und von der Firma Zeiss, Jena, produziert [ALBERTZ, 1999].

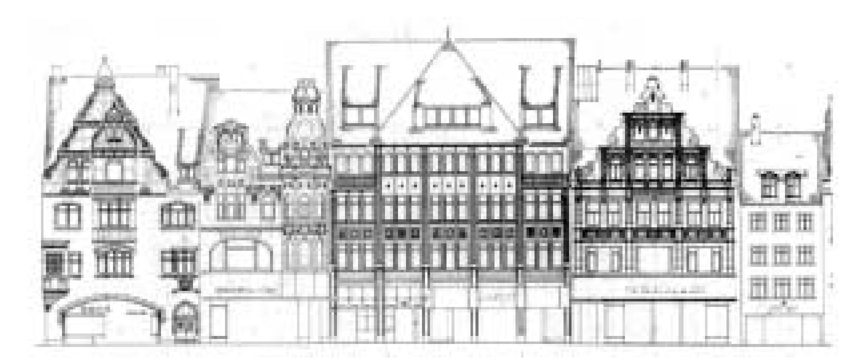


Abb. 5.36: Stereoskopische Fassadenauswertung, Konstanz, Rosgartenstraße [ECKSTEIN, 1986]

Ebenso häufig wird die Stereophotogrammetrie zur Modellierung stark deformierter Oberflächen eingesetzt [z.B. KNOOP et al., 1992], weil hier in einem Arbeitsgang die dreidimensionale Oberflächenerfassung und die linienhafte inhaltliche Auswertung durchgeführt werden kann. Ein aus stereoskopischen Messungen abgeleitetes geometrisches Oberflächenmodell ist für bestimmte Anwendungsfälle als Bezugsfläche für entzerrte Darstellungen geeignet [vgl. WIEDEMANN, 1997].

Zur Oberflächenmodellierung von Statuen, Bauplastik oder aufwändigen Stuckornamenten wurde die Stereophotogrammetrie in der Vergangenheit als Ergänzung zur Erfassung im Handaufmaß eingesetzt [z.B. ECKSTEIN, 1986, 1997; SCHULTZ, 1986]. Auch wenn in diesem Bereich verstärkt scannende Lasermesssysteme oder photogrammetrische Verfahren in Kombination mit Streifenprojektion[61] Verwendung finden, kann die Stereophotogrammetrie nach wie vor von geschultem Personal mit guter Kenntnis der vorherrschenden Stilelemente angewendet werden.

Das in Abbildung 5.37 dargestellte Beispiel ist einer Veröffentlichung von G. Eckstein [ECKSTEIN, 1986] entnommen. Das links abgebildete Messbild kann eindruckvoll zeigen, dass eine Auswertung auf der Grundlage von homologen Punkten in verschiedenen Bildern hier nicht durchzuführen wäre. Auch eignet sich die komplexe plastische Ausformung nicht für eine entzerrte photogrammetrische Modellierung. Derartige Objekte können sehr gut durch eine interpretierende Auswertung in einem stereoskopischen Modell vorgenommen werden, unter der Voraussetzung, dass durch den Auswerter eine unter inhaltlichen Gesichtspunkten fachlich qualifizierte Interpretation geleistet werden kann. Die aus der Auswertung hervorgegangene einfache linienhafte Darstellung war in diesem Beispiel Grundlage für eine sich anschließende Schadenskartierung und wurde deshalb in der Darstellung nicht besonders aufwändig ausgestaltet.





a) Messbild



b) stereoskopische Auswertung

Abb. 5.37: Stereoskopische Auswertung, Schwäbisch Gmünd, Münsterportal [ECKSTEIN, 1986]

[61] vgl. Kap. 5.3.5, 'Automatische photogrammetrische Verfahren'

Das Potenzial der stereoskopischen Erfassungsmethode ist nicht nur vor dem Hintergrund der geometrischen Messgenauigkeit zu bewertet, sondern muss ergänzend in den Kontext der Gesamtmodellbildung für die Bauaufnahme eingeordnet werden. Darüber hinaus ist die Akzeptanz des Messverfahrens beim Anwender in die Diskussion über sinnvolle Anwendungsbereiche der Stereophotogrammetrie einzubeziehen.

Neben den charakteristischen Vor- und Nachteilen aller photogrammetrischer Methoden übt die während der Messung auszuführende interpretierende Auswertung einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis des Modellierungsprozesses aus. Die bildhafte Darstellung der vorliegenden Messbilder wird im Verlauf der Auswertung auf die wesentlichen Inhalte reduziert. Diese Auswahl der Bildinformationen geschieht in vielen Fällen nicht durch den für den Bauaufnahmezweck maßgeblichen Experten, sondern durch einen mit dem Auswertesystem vertrauten Photogrammeter. Auch wenn der Auswerter große Erfahrung im Umgang mit der Erfassung von Architektur besitzt, wird doch ein weiteres, zusätzliches Glied in die Kette der Modellierungsabläufe eingeschoben. Soll die stereoskopische Auswertung über einfache Dokumentationsanwendungen hinaus eingesetzt werden, ist eine sehr enge Zusammenarbeit mit den das Ergebnis nutzenden Fachgebieten notwendig. Am besten ist die Auswertung jedoch von den Fachexperten selbst durchzuführen. Beide Ansätze sind in der verschiedensten Projekten in der Vergangenheit verfolgt worden [z.B. IOANNIDIS et al., 1997; STEPHANI, 1986], wobei aber z.B. auf dem Gebiet der Bauforschung keine allgemein gültige Akzeptanz der stereophotogrammetrischen Methode erreicht werden konnte. Hierfür sind als mögliche Gründe die hohen Investitionskosten für analoge und analytische Auswertegeräte, die komplexe Handhabung sowie die für die Augen zunächst ungewohnte und anstrengende Betrachtung im stereoskopischen Modell zu nennen.

Mit der Entwicklung und zunehmenden Verbreitung von digitalen photogrammetrischen Methoden sind neue, einfach zu handhabende und kostengünstiger zu beschaffende photogrammetrische Auswerteprogramme verfügbar. Diese Entwicklung wurde nicht zuletzt durch den Wunsch vieler Anwender nach einfachen photogrammetrischen Werkzeugen ermöglicht [CIPA, 2001; GRUSSENMEYER et al., 1999a; JACHIMSKI, ZIELINSKI, 1996]. Als Beispiel können hier die stereoskopischen Auswerteprogramme Tiphon [GRUSSENMEYER, 1998] und Arpenteur [ARPENTEUR, 2001; GRUSSENMEYER et al., 1999a] angesehen werden. Innerhalb dieser Programme wird für eine stereoskopische Auswertung eine kombinierte Strategie zwischen digitaler, rechnerischer Zweibildauswertung und wirklich stereoskopischer Auswertung vorgenommen[62]. In der Architekturphotogrammetrie liegt bei vielen Anwendungen die überwiegende Anzahl der Objektpunkte an eindeutig zu identifizierenden Stellen der Originaloberfläche, sodass für die Berechnung der Parallaxen auch digitale Bildzuordnungsalgorithmen eingesetzt werden können[63]. Hierbei wird der zu messende Punkt durch den Operateur ausgewählt und im ersten Bild manuell eingestellt. Durch Vergleich der digitalen Grauwerte wird die entsprechende Stelle im zweiten Bild gefunden und somit die x-Parallaxe automatisch durch die so genannte Korrelation der Grauwerte berechnet. Versagt die Korrelation, weil die radiometrische Oberflächeneigenschaften nicht ausreichend strukturiert sind, kann die Messung im dreidimensionalen stereoskopischen Raummodell manuell vom Operateur ausgeführt werden. Durch die digitale Korrelation lassen sich die Vorteile der für den Auswerter einfach zu handhabenden monoskopischen Auswertung mit dem stereoskopischen Messprinzip zu einem leistungsfähigen Erfassungswerkzeug verbinden, das auch von nicht photogrammetrisch gebildeten Personen zu bedienen ist.

Die Betrachtung des stereoskopischen Modells ist nur aufgrund der Bildtrennung mit den verschiedenen Hilfsmitteln möglich. Die technischen Möglichkeiten für den Einsatz von Shutterbrillen zur stereoskopischen Betrachtung und Messung sind durch die Anwendung dieser Technologie auf dem 3D-Spielesektor in den vergangenen Jahren erheblich gestiegen. Mittlerweile können Shutterbrillen als kostengünstiges Standardverfahren auf jedem PC eingesetzt werden, sodass sich stereoskopische Bilder nicht nur zur Bildauswertung, sondern auch für die anschauliche 3D-Visualisierung von historischer Bausubstanz einsetzen lassen [z.B. POMASKA, 1999]. Könnte bei der Betrachtung eines 3D-Modells gänzlich auf Stereoskope, Anaglyphen- oder Shutterbrillen verzichtet werden, ließe sich ohne Zweifel eine Steigerung der Akzeptanz stereoskopischer Verfahren erreichen. Erste Entwicklungen in der Bildschirmtechnik zur dreidimensionalen Betrachtung ganz ohne Hilfsmittel weisen schon heute in die Zukunft [BUCHROITHNER, 1998; D4D, 2001].

[62] Die stereoskopische Auswertung ist z.T. auch in Programmen zur Mehrbildauswertung integriert [z.B. PHIDIAS, 2001; PITSCHKE, GORNY, 1993].

[63] zur automatischen Bildmessung vgl. Kap. 5.3.5, 'Automatische photogrammetrische Verfahren'

Eine benutzerfreundliche Handhabung der stereoskopischen Auswerteprogramme kann durch die Integration in eine gewohnte und allgemein akzeptierte Softwareumgebung ermöglicht werden. Dabei lassen sich sowohl gängige CAD-Programme oder die Betriebssystem unabhängige Plattform eines Internet Browsers einsetzen. Durch das Programmsystem Arpenteur [ARPENTEUR, 2001; GRUSSENMEYER, DRAP, 2000] wird die Web-Technologie auf Grundlage eines Java-Programms als so genanntes Java-Applet genutzt. Hierdurch können die stereoskopischen Programmmodule von jedem Nutzer aus dem Internet geladen und mit einem gängigen Internet-Browser betrieben werden.

Die bis hierher dargelegten spezifischen Bedingungen der Stereophotogrammetrie sollen mit einer abschließenden Betrachtung zur räumlichen Auswertung im stereoskopischen Modell ergänzt werden. Die Stereophotogrammetrie stellt auf der Grundlage von zweidimensionalen Bildern ein dreidimensionales Raummodell für eine inhaltliche wie metrische Auswertung bereit. Auch wenn durch den Modellierungsschritt vom Original zur fotografischen Abbildung ein Verlust von Informationen nicht zu verhindern ist, kann das stereoskopische Raummodell dennoch einen gegenüber dem Original höheren Gehalt an Informationen bereitstellen: Die Wahrnehmung der Tiefenausdehnung des Objekts ist abhängig vom Verhältnis der Bildbasis zum Aufnahmeabstand, sodass bei breiter Basis, kurzem Aufnahmeabstand ein Verhältnis von bis zu 1:1 und größer erzielt werden kann. In diesen Fällen sind die durch den Auswerter zu beobachtenden Unterschiede in der Tiefenausdehnung des stereoskopischen Modells gegenüber der natürlichen Wahrnehmung überhöht zu betrachten, das Raummodell kann plastischer erfasst, dadurch besser interpretiert und Höhenunterschiede genauer gemessen werden[64].

Dieses Potenzial für eine qualifizierte interpretierende Auswertung wird erstaunlicherweise in der Bauaufnahme sehr selten genutzt, obwohl Anwendungen für die Analyse von Bauornamentik, Ziegelstempeln, Reliefs etc. vorstellbar wären. Ergänzend zu den üblichen zweidimensionalen Ansichten und Schnitten könnte ein dreidimensionales stereoskopisches Modell zur inhaltlichen Interpretation eingesetzt werden. Besonders unter dem Anspruch einer objektiven Bauaufnahme sollte ein stereoskopisches Modell erstellt werden, an dem die Interpretation eines Objekts von verschiedenen Personen unter anderen Fragestellungen zu unterschiedlichen Zeiten ausgeführt werden kann. Und das auch dann noch, nachdem das Original vielleicht schon gar nicht mehr existiert.

5.3.4 Mehrbildauswertung

Die Mehrbildauswertung wird wie die Stereophotogrammetrie zur inhaltlich interpretierenden Auswertung von punkt- oder linienhaften Objektstrukturen eingesetzt. Die Ausdehnung der Bildanzahl von zwei auf drei oder mehr ermöglicht gegenüber der Zweibildauswertung eine höhere Genauigkeit sowie eine Kontrolle auf Zuverlässigkeit bereits während der Geometrieerfassung. Bei Anwendung der Bündelblockausgleichung sind prinzipiell alle Arten von Bilddaten auszuwerten, die überdies beliebig im Raum angeordnet sein können. Es besteht somit keine Beschränkung mehr in Bezug auf den verwendeten Kameratyp, die Aufnahmeanordnung oder andere Zwangsbedingungen, wie sie z.B. innerhalb der analytischen stereoskopischen Auswertung vorgegeben sind.

Die Mehrbildauswertung ist ein außerordentlich flexibles Auswerteverfahren, das neue Möglichkeiten für die Anwendung in den verschiedenen Feldern der Bauaufnahme erschließt, das aber auch sehr klaren Beschränkungen unterliegt. Möglichkeiten und Grenzen dieser photogrammetrischen Methode sollen innerhalb der folgenden Kapitel herausgearbeitet werden, bevor eine Einschätzung über das Potenzial der Mehrbildauswertung für die Bauaufnahme entwickelt wird.

5.3.4.1 Grundprinzipien der Mehrbildauswertung

Das Grundprinzip zur dreidimensionalen geometrischen Objektrekonstruktion aus den zweidimensionalen Bilddaten entspricht dem der Messtischphotogrammetrie (Abb. 5.33) angewendet auf drei oder mehr Bilder, wobei prinzipiell eine grafische wie eine rechnerische Lösung denkbar ist. Der grafische Lösungsansatz der Messtischphotogrammetrie ist für eine Auswertung vieler Objektpunkte nur mit hohem zeitlichen Aufwand auszuführen und wurde schon bald durch das sehr viel einfachere stereoskopische

[64] zur genauen Ableitung dieses Überhöhungsfaktor vgl. [KRAUS, 1990]

Messprinzip ersetzt. Die rechnerische Lösung war erst mit Entwicklung der so genannten Bündelblockausgleichung in Kombination mit moderner Rechnertechnik wirtschaftlich durchführbar[65], wodurch die Messtischphotogrammetrie besonders in der Nahbereichs- und Architekturphotogrammetrie wieder eine wichtige Stellung unter den Auswertemethoden einnehmen konnte.

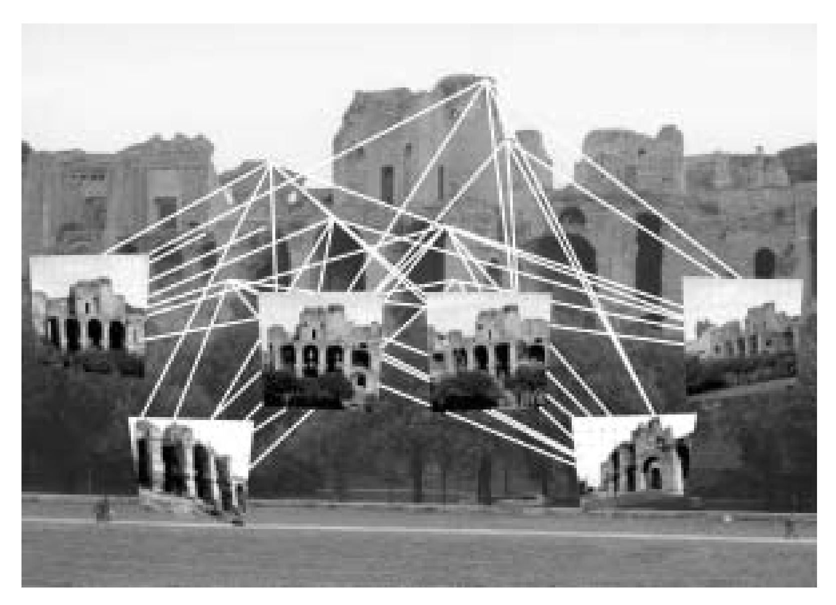


Abb. 5.38: Zuordnung von Bild- und Objektpunkten im räumlichen Strahlenbünden der Mehrbildphotogrammetrie

Durch die Bündelblockausgleichung werden auf der Grundlage von gemessenen Bild- und Passpunktkoordinaten in einem Rechenschritt sowohl die innere und äußere Orientierung der beteiligten Bilder als auch die dreidimensionalen Punktkoordinaten der gesuchten Objektpunkte berechnet. Dabei existiert prinzipiell weder eine Beschränkung in der Anzahl der beteiligten Bilder und Punkte noch eine in der geometrischen Anordnung der Aufnahmen. Durch die Bündelausgleichung können völlig freie Aufnahmekonfigurationen gewählt werden, und vor allem sind mehr als zwei Bilder für die Berechnung zu verwenden, sodass die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der berechneten Punktkoordinaten durch diese Überbestimmung erheblich gesteigert werden kann. So war es denn auch besonders die im Verfahren begründete Kontrollmöglichkeit, die den Einsatz der Mehrbildphotogrammetrie zur Koordinatenbestimmung vorantrieb. Auch wenn das Ergebnis der Bündelausgleichung in Form von dreidimensionalen Punktkoordinaten dieses Verfahren besonders für Anwendungen in der industriellen Nahbereichsphotogrammetrie qualifiziert [z.B. WESTER-EBBINGHAUS, 1983, 1987], wurden ebenso von Beginn an Aufgabenstellungen der Architekturphotogrammetrie durch die Mehrbildphotogrammetrie bearbeitet [z.B. KOTOWSKI et al., 1986, 1988; WESTER-EBBINGHAUS, 1978].

Zur Schnittpunktberechnung homologer Punkte ist eine Bildpunktmessung in mehreren Bildern auszuführen, wobei die Mehrfachmessung zugleich den wesentlichen Vorteil wie entscheidenden Nachteil darstellt. Die Mehrfachmessung ist unentbehrlich, wenn innere und äußere Orientierung im Rahmen der Bündelausgleichung zu bestimmen sind und hierbei Aufnahmen der verschiedenen Kameratypen – Messkamera, Teilmesskamera oder Nicht-Messkamera – zu einem geometrischen Raumbündel verknüpft werden sollen (Abb. 5.19, 5.38). Die Zwangsbedingung des gemeinsamen Schnittpunktes aller von den Bildpunkten ausgehenden Raumgeraden in den entsprechenden Objektpunkten garantiert eine stabile räumliche Verknüpfung der Bilder untereinander und bei bekannten Passpunktkoordinaten die absolute Lage im übergeordneten Koordinatensystem. Sind mehr Verknüpfungspunkte in den beteiligten Bildern gemessen, als zur äußeren Orientierung benötigt werden, können die Parameter der inneren Orientierung verbessert oder, sofern gänzlich unbekannt, berechnet werden. Insgesamt ermöglicht die der Bündelausgleichung innewohnende Flexibilität die Integration aller Bilddaten in eine gemeinsame photogrammetrische Auswertung.

[65] vgl. [BROWN, 1976]

Doch gleichzeitig ist die Mehrfachmessung für Anwendungen auf dem Gebiet der Bauaufnahme eher hinderlich. Im Gegensatz zur Industriephotogrammetrie, wo entweder nur wenig Objektpunkte zu erfassen sind oder signalisierte Zielmarken automatisch vermessen werden können, ist in der Architektur generell eine hohe Informationsdichte von natürlichen Objektpunkten anzutreffen[66]. Diese Punkte wenigstens in zwei Bildern messen zu müssen, setzt nicht nur voraus, dass die Punkte zweifelsfrei in allen Bildern zu identifizieren sind, sondern bedeutet auch den doppelten Zeitaufwand für die eigentliche inhaltliche Auswertung gegenüber z.B. stereoskopischen Messungen.

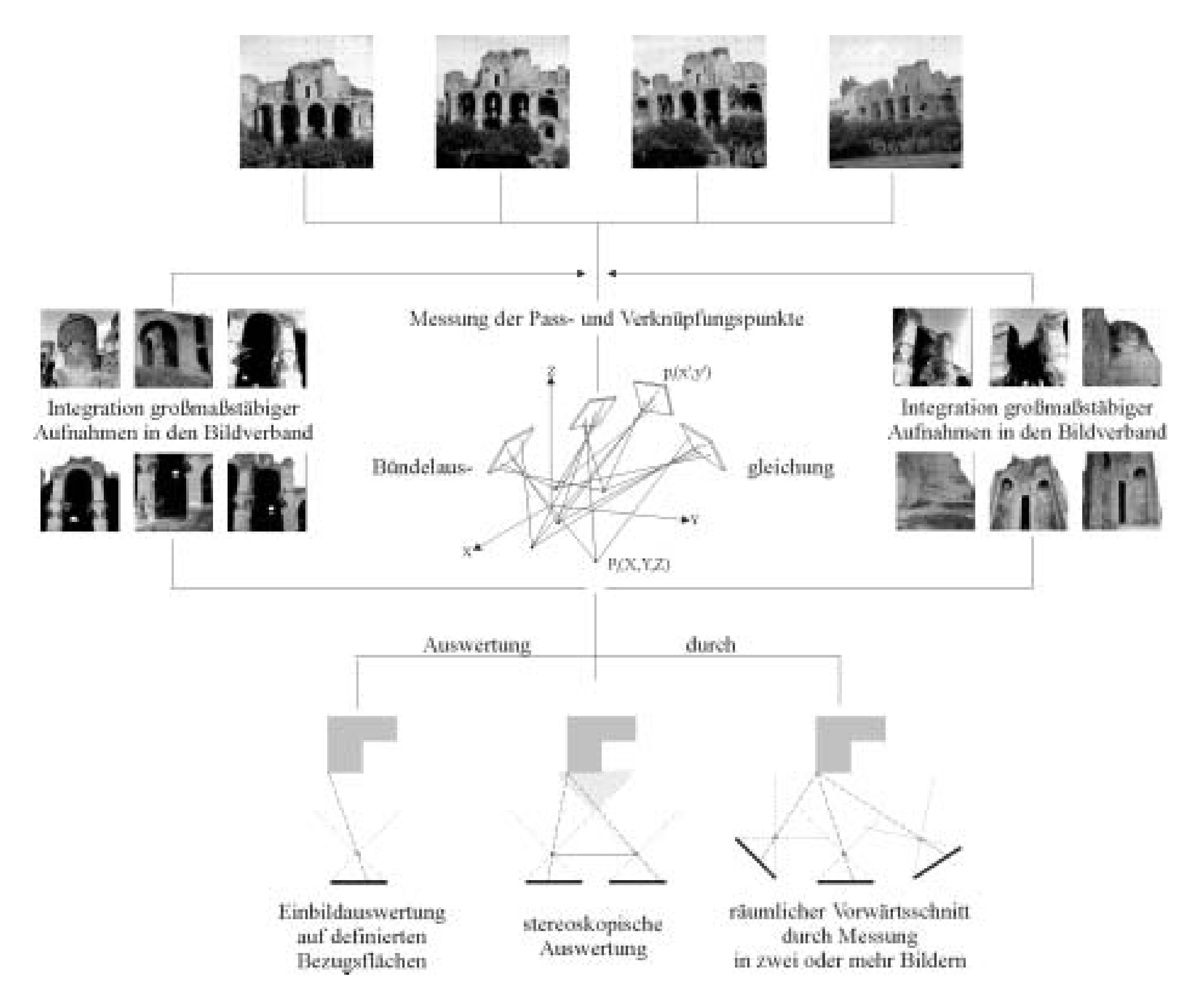


Abb. 5.39: Auswerteablauf der Mehrbildphotogrammetrie

Um die Vorteile der Mehrbildauswertung bei Vermeidung der Nachteile nutzen zu können, hat sich eine zweistufige Auswertung als Lösung für einen effektiven Einsatz in der Bauaufnahme herausgebildet (Abb. 5.39):

- Messung der Pass- und Verknüpfungspunkte in allen Bildern zur bestmöglichen Berechnung der inneren und äußeren Orientierungen innerhalb der Bündelausgleichung
- anschließend eigentliche inhaltliche Auswertung durch Messung in nur einem Bild unter Verwendung von verschiedenen Strategien oder stereoskopische Auswertung

Da die Messung in nur einem Bild ohne Kenntnis weiterer geometrischer Objektparameter zu keinen dreidimensionalen Koordinatenwerten führt, wird im Rahmen der verschiedenen Softwarepakete zur

[66] Auf die automatische Messung von linienhaften Strukturen wird noch eingegangen werden; zum Einsatz von künstlichen Zielmarken in der Bauaufnahme vgl. Kap. 5.3.5, 'Automatische photogrammetrische Verfahren'.

Mehrbildauswertung auf eine Strategie zurückgegriffen, die ebenfalls bei den tachymetrischen Verfahren und im Rahmen der photogrammetrischen Einbildauswertung anzutreffen ist. Die Messung wird nicht auf dem Objekt selbst durchgeführt, sondern auf einer das Objekt repräsentierenden Bezugsfläche. Neben der Ebene als einfachster Form einer Bezugsfläche können prinzipiell alle mathematisch zu beschreibenden Körper als Repräsentant der Objektoberfläche verwendet werden. Programmsysteme, die in ein CAD-System eingebettet sind, verwenden als Bezugskörper in der Regel die im CAD-System vorgehaltenen Typen [vgl. BENNING, 2000]. Zur Definition der Bezugsfläche ist eine der Oberflächengeometrie entsprechende Anzahl von Punkten zu messen. Jeder Punkt sollte in mindestens drei Bildern bestimmt werden, damit die dreidimensionalen Koordinaten mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit berechnet werden können. Werden mehr Punkte gemessen, als zur Ableitung des Bezugskörpers notwendig sind, kann im Rahmen einer Ausgleichung aus allen Punkten die optimale Form und Größe des Bezugskörpers berechnet werden. Wie bei allen anderen Anwendungen der vereinfachten Erfassung durch Bezugsflächen ist aber damit keine Kontrolle der Übereinstimmung zwischen Original und Bezugsfläche gegeben und Fehler von außerhalb der Bezugsfläche liegenden Objektbereichen sind auch hier nicht zu vermeiden (vgl. Abb. 5.24). Mit der definierten Bezugsoberfläche können nun durch Messung in nur einem Bild die dreidimensionalen Objektkoordinaten auf der Grundlage der Kollinearitätsgleichungen berechnet werden. Der geometrische Zusammenhang ist in Abbildung 5.25 im Zusammenhang der digitalen Abwicklung dargestellt. Dort diente die Berechnung der Bereitstellung weniger Passpunkte für die Abwicklung, in der Mehrbildphotogrammetrie muss dagegen die Schnittberechnung mit dem Bezugskörper für jeden zu erfassenden Punkt ausgeführt werden.

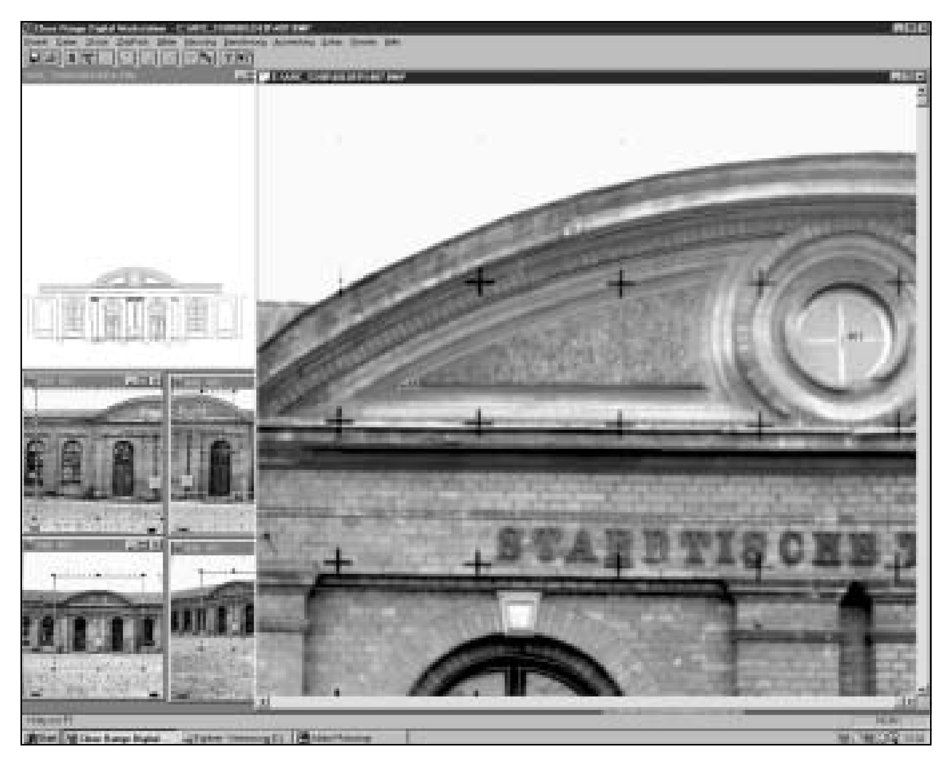


Abb. 5.40: Mehrbildauswertesystem CDW

Als typisches Ergebnis der Mehrbildauswertung entsteht entweder eine Punktdatei mit dreidimensionalen Koordinaten oder aber eine Datei im Format gängiger CAD-Programme (z.B. AutoCAD, MicroStation). Die Protokollierung der Auswertung in Form einer CAD-Datei mit simultaner Darstellung der erfassten Geometrieelemente in einem Betrachtungseditor auf dem Auswertebildschirm (Abb. 5.40, links oben) ermöglicht eine Kontrolle auf Vollständigkeit oder grobe Fehler. Diese Möglichkeit war bereits in den ersten nach dem Mehrbildprinzip arbeitenden Programmen gegeben, in denen ausschließlich analoge Bilder ausgewertet werden konnten [z.B. MR2, 1994]. Wesentlich effektiver ist das Ergebnis jedoch zu überprüfen, wenn die gemessenen Punkte oder Linienzüge zeitgleich in die Auswertebilder projiziert werden (Abb. 5.40, rechts). Dies ist im Rahmen einer digitalen Auswertung leicht möglich, da die dreidimen-

sionalen Punktkoordinaten durch Umkehrung der Kollinearitätsgleichungen in zweidimensionale Bildkoordinaten umgerechnet und anschließend dem Auswertebild überlagert werden können [z.B. ARPENTEUR, 2001; CDW, 1996; DIPAD, 1998; ELCOVISION, 2001; PHIDIAS, 2001; PICTRAN, 2001; PITSCHKE, GORNY, 1993; PHOTOMODELER, 2001].

Der Vergleich der eingeblendeten Punkte oder Linien mit dem Inhalt des Messbildes deckt Auswertelücken oder Fehlmessungen deutlich auf, sodass gegebenenfalls sofort nachgemessen werden kann. Wird die Messung in einem anderen als dem zur Auswertung verwendeten Bild kontrolliert, lässt sich das Ergebnis auch in geometrischer Hinsicht auf seine Richtigkeit überprüfen. Nur wenn durch die Messung im ersten Bild (Abb. 5.41a) tatsächlich der dreidimensionale Objektpunkt repräsentiert wird, befindet sich der Punkt auch in allen weiteren Bildern an der richtigen Position. Ist dies nicht der Fall, liegt entweder eine schlechte Orientierung der Bilder vor[67] oder die Objektoberfläche wird durch die gewählte Bezugsfläche nicht repräsentiert. Am Beispiel des runden Fensters in Abbildung 5.41b ist diese Art der Fehlmessung durch die Betrachtung in einem zweiten Bild leicht zu erkennen. Hier wurde auch das Fenster in der selben Ebene wie die Stuckelemente der Fassade ausgewertet, obwohl es ca. 40 cm dahinter an der Innenseite der Wand liegt.



a) Projektion der erfassten Punkte und Linien in das Auswertebild



b) Projektion der Liniengeometrie in ein zweites Bild

Abb. 5.41: Kontrollmöglichkeit während der Mehrbildauswertung

Derartige Fehler treten typischer Weise bei Fassadenauswertungen auf, bei denen die ganze Fassade als eine Ebene angesehen wird, obwohl in Wirklichkeit kleine Vor- bzw. Rücksprünge in der Fassadengliederung enthalten sind oder die Fassaden anderweitig deformiert sind. Zur Lösung kann hier die Ebenendefinition so weit in ihrer Ausdehnung verkleinert werden, bis die Ebene das Original hinreichend genau repräsentiert. Ist dies nicht möglich, müssen durch Messung von homologen Punkten in mindestens zwei Bildern die Punktkoordinaten direkt berechnet werden.

Neben dieser Auswertestrategie, die Messung vom Original auf eine Bezugsfläche zu verlagern, kann die Mehrbildauswertung weiterhin mit einer stereoskopischen Erfassung kombiniert werden, um einerseits durch nur einen Messvorgang eine effektive Erfassung sicherstellen, andererseits aber auch unstrukturierte Bereiche auswerten zu können. Auch hier dient die Mehrbildauswertung in Kombination mit der Bündelblockausgleichung der Lösung von unbekannter innerer und äußerer Orientierung. Ist dieses Problem gelöst, können aus den beliebig angeordneten Bildern Stereopaare berechnet werden, in denen dann die inhaltliche Interpretation vorgenommen werden kann. Anwendung findet dieses Vorgehen entweder mit dem vordringlichen Ziel, eine stereoskopische Auswertung durchführen zu wollen [ARPENTEUR, 2001; GRUSSENMEYER, 1998; PITSCHKE, GORNY, 1993] oder aber als ergänzendes Hilfsmittel in einem überwiegend mehrbildorientierten Auswertekonzept [PHIDIAS, 2001].

Unter Verwendung von automatischen Bildverarbeitungsalgorithmen kann eine Mehrbildauswertung vorgenommen werden, bei der ein Auswerter ebenfalls die Objektpunktmessung nur in einem Bild ausführen muss. Die Punktauswahl erfolgt interaktiv durch den Operateur in einem Messbild, die Messung wird automatisch in den anderen Bildern ausgeführt. Das grundsätzliche Prinzip dieses auch als

[67] Zur Beurteilung der Bildorientierung kann das Ergebnis der Bündelausgleichung herangezogen werden.

halbautomatische Messung bezeichneten Auswerteansatzes ist im Zusammenhang der stereoskopischen Messverfahren beschrieben worden und kann analog für die Auswertung in Mehrbildprogrammen eingesetzt werden[68] [z.B. DIPAD, 1998; PICTRAN, 2001; PITSCHKE, GORNY, 1993].

5.3.4.2 Mehrbildauswertung und CAD

Die erfolgreiche Kombination der Mehrbildphotogrammetrie mit CAD-Programmen beruht auf der gemeinsamen Geometriebeschreibung in Form von dreidimensionalen Punktkoordinaten. Die Mehrbildphotogrammetrie stellt dreidimensionale Punktkoordinaten als Ergebnis des Auswerteprozesses bereit, und in CAD-Programmen können über 3D-Punkte Linien definiert werden, die wiederum Flächen begrenzen, aus denen sich Raumkörper ableiten. Die Speicherung des photogrammetrischen Auswerteergebnisses in Form der CAD-Datei ermöglicht die direkte Übernahme der erfassten Geometriedaten in das für Architekten gewohnte Konstruktions- und Darstellungshilfsmittel CAD. So sind denn auch alle photogrammetrischen Mehrbildauswerteprogramme mit einem mehr oder weniger komfortablen CAD-Editor ausgestattet, in dem bereits eine erste Überarbeitung stattfinden kann, bevor das Endergebnis ausgedruckt oder über eine CAD-Schnittstelle für eine weiterführende Bearbeitung exportiert wird.

Wird die Anbindung an ein CAD-System nicht nur über das Austauschformat vorgenommen, sondern das Mehrbildsystem vollständig in ein komfortables CAD-Programm integriert, lassen sich die CAD-Funktionalitäten wesentlich effektiver für die Objekterfassung nutzen. Eine derartige Lösung ist zum Beispiel in den Programmen PHIDIAS [BENNING, 2000; PHIDIAS, 2001], DIPAD [HIRSCHBERG, 1996; STREILEIN, 1998], ELCOVISION 10 [ELCOVISION, 2001] oder PAROS [FLORENZANO et al., 1996, 2001] realisiert. Neben den Konstruktionshilfen stellt vor allem die Kopierfunktion eine effektive Hilfe bereit. Wird ein einmal erfasstes Objekt innerhalb des CAD-Programms als Prototyp gespeichert, kann es über die CAD-Kopierfunktion vervielfältigt, immer wieder neu plaziert sowie in seiner Größe, Position und Orientierung verändert werden. Da das Auswertesystem innerhalb des CAD-Systems agiert, können die neu platzierten Elemente in die Messbilder eingeblendet werden, sodass eine sofortige visuelle Kontrolle der Geometrieerfassung möglich ist[69].

Eine nach diesem Modulprinzip streng ausgerichtete Modellierungsstrategie wird innerhalb des Systems PAROS angewendet, bei dem davon ausgegangen wird, dass sich die gebaute Architektur prinzipiell aus den gleichen, immer wiederkehrenden Elementen zusammensetzt[70] [FLORENZANO et al., 1996, 2001; PAROS, 2001]. Entsprechend dieser Modellierungsphilosophie wird zum Beispiel eine Säule soweit zerlegt, bis sie durch die Grundmodule Basis, Schaft und Kapitel zusammengesetzt werden kann. Am Objekt werden nur so viele Punkte gemessen, wie zum Anpassen des Grundmoduls auf die tatsächliche Form notwendig sind. Dabei steht nicht die möglichst wirklichkeitsgetreue Erfassung im Vordergrund, vielmehr soll ein Werkzeug bereitgestellt werden, das aus wenigen tatsächlich zu messenden Punkten eine Rekonstruktion des Objektes erlaubt.

Eine sehr große Verknüpfung von CAD- und Photogrammetriemodell ist in dem Mehrbildauswertekonzept des Programmsystems DIPAD realisiert [HIRSCHBERG, 1996; STREILEIN, 1998], in dem Photogrammetrieauswertung und CAD-Modell in gegenseitiger Interaktion agieren. Am Anfang der Auswertung steht ein sehr grobes CAD-Modell, das entweder aus bereits vorhandenen CAD-Daten besteht oder innerhalb des Systems durch die CAD-Funktionen neu konstruiert werden kann. Dieses Modell ist nicht in höchster geometrischer Genauigkeit aufzubauen, es soll aber alle Nachbarschaftsbeziehungen (Topologie) zwischen den das Objekt bildenden Elementen enthalten. Innerhalb dieses CAD-Modells werden die Kameras positioniert, sodass Näherungswerte für die Berechnung der äußeren Orientierung zur Verfügung stehen. Die Objekttopologie wird im CAD-Modell durch eine trennende Kante zwischen den einzelnen Topologieelementen sichtbar repräsentiert und kann in jedes Messbild eingeblendet werden. Durch automatische Messung der Kante in den entsprechenden Bildern wird die eigentliche Messung ausgeführt. Anschließend kann hieraus die dreidimensionale Position der Kante berechnet sowie deren Lage im CAD-Modell neu ermittelt werden. Dabei werden sowohl die 3D-Geometrie des CAD-Modells

[68] vgl. auch Kap. 5.3.5, 'Automatische photogrammetrische Verfahren'

[69] vgl. Kap. 4.3, 'Datenstrukturierung und -darstellung'

[70] vgl. Abb. 4.17

wie auch die innere und äußere Orientierung der Kameras iterativ verbessert. Am Ende dieses automatischen Messalgorithmus sind sowohl die Bilder wie das Objekt optimal in ihrer Geometrie bestimmt. Die Überlagerung von CAD- und Bilddaten erlaubt eine visuelle Kontrolle, ob die Messung ausreichend genau ausgeführt wurde und ob das CAD-Modell durch die ergänzende Modellierung und Messung weiterer Kanten verdichtet werden soll. Prinzipiell ist eine Verfeinerung des Modells solange möglich, wie lineare Objektstrukturen in den Bildern zu erkennen sind.

Insgesamt wird in DIPAD ein halbautomatisches Auswertekonzept verfolgt, bei dem die Auswahl der zu messenden Kanten und damit die Objekttopologie durch den Auswerter festgelegt wird, aber die Messung durch automatische Messalgorithmen ohne Benutzereingriff abläuft. Damit wird die unter dem jeweiligen Modellierungszweck stehende inhaltliche Interpretation durch den Menschen vorgenommen, die Geometriemessung jedoch durch das Programmsystem mit abschließender visueller Kontrolle durch den Auswerter.

5.3.4.3 Anwendungspotenziale der Mehrbildauswertung

Sollen im Rahmen einer Bauaufnahme photogrammetrische Methoden zur inhaltlich interpretierenden Modellbildung eingesetzt werden, kann prinzipiell sowohl auf die Stereophotogrammetrie wie auch auf die Mehrbildauswertung zurückgegriffen werden. Zur Mehrbildauswertung werden homologe Punkte benötigt, die in möglichst vielen Bildern gut zu erkennen sein müssen. Diese Punkte sind in der Architektur an End- bzw. Schnittpunkten von Linien und Kanten besonders leicht zu finden und repräsentieren häufig gerade die Informationen, die durch die Bauaufnahme erfasst werden sollen[71]. Somit kann die Mehrbildauswertung als photogrammetrisches Bauaufnahmeverfahren für viele Anwendungen erfolgreich genutzt werden. Weist das Objekt keinen ausreichenden Kontrast zur Identifizierung homologer Punkte auf, ist jedoch die Stereophotogrammetrie der Mehrbildauswertung vorzuziehen.

Wie bei allen interpretierenden Auswertungen üben der Modellierungszweck und damit die an der Modellierung beteiligten Personen einen besonderen Einfluss auf das Ergebnis aus. Ist eine auf den Zweck ausgerichtete Interpretation zu leisten, entscheidet neben der photogrammetrischen auch und besonders die fachliche Kompetenz des Auswerters über die Qualität und damit über den Nutzen der Bauaufnahme. Diese inhaltliche Fachkompetenz kann im Rahmen von Mehrbildauswertungskonzepten durch den Fachanwender selbst eingebracht werden, weil innerhalb der Mehrbildauswerteprogramme eine flexible und einfache Handhabung realisiert ist, die auch eine Auswertung durch den photogrammetrisch wenig befähigten Nutzer zulässt. Hierbei kann der Fachnutzer entweder die gesamte Auswertung selbstständig ausführen, oder nach erfolgter innerer und äußerer Orientierung der Bilder durch einen photogrammetrischen Auswerter wird das Projekt an den Fachexperten zur eigentliche inhaltliche Auswertung übergeben[72].

Die einfache Handhabung ist vor allem deshalb möglich, weil die Mehrbildphotogrammetrie – besonders im Vergleich zur analytischen Stereophotogrammetrie – auf keine speziellen Aufnahme- und Auswerteinstrumente angewiesen ist. Die Bilder können mit jeder konventionellen Analog- oder Digitalkamera angefertigt werden, zur Auswertung genügt ein Standard-Computer, bei analogen Bildern ein Scanner[73], ein gängiges CAD-System und ein Plotter. Alle notwendigen Geräte gehören zur Standardausstattung eines jeden Büros, lediglich die photogrammetrische Software ist ergänzend zu beschaffen. Auch die Gestaltung in der Programmführung der Mehrbildauswerteprogramme ähnelt vielfach denen gängiger Computer-, CAD-, bzw. Internet-Programme. Bei vollständiger Integration in ein CAD-System macht es keinen Unterschied, ob eine Element direkt im CAD-System gezeichnet wird oder ob das Objekt durch eine Auswertung in den Bildern des photogrammetrischen Modells erzeugt wird [z.B. PHIDIAS, 2001; STREILEIN, 1998]. Besonders für die in allen Fachgebieten ständig steigende Anzahl von Personen mit CAD-Grundkenntnissen wird durch das Auswerten in einer gewohnten Softwareumgebung die Akzeptanz für den Einsatz photogrammetrischer Verfahren erhöht.

71 Im Gegensatz zur reflektorlosen Tachymetrie können Kanten direkt erfasst werden und müssen nicht indirekt aus den Messungen abgeleitet werden.

72 vgl. auch Kap. 6, 'Bauaufnahmestrategien'

73 Durch die Entwicklung auf Kodak Photo-CD können kostengünstig digitale Bilder höchster Auflösung bereitgestellt werden [HANKE, 1994].

Die Mehrbildphotogrammetrie ist vor dem Hintergrund der einfachen Handhabung effektiv in den Anwendungen der Bauaufnahme einzusetzen, die nur einen geringen Anspruch an die geometrische Genauigkeit und inhaltliche Vollständigkeit stellen. Insbesondere gilt dies für die in Kapitel 3.1 beschriebenen Arbeitsgebiete der einfachen Sanierung und des Gebäudemanagements sowie für alle Arten von Inventarisierungen (Kap. 3.2). Hier wären zeit- und kostenintensive photogrammetrische Auswertungen höchster Genauigkeit ebenso wenig durchzuführen wie aufwändige geodätische Messkampagnen[74]. Das bei einer örtlichen Begehung mit einer konventionellen Kamera angefertigte Bildmaterial kann für eine anschließende photogrammetrische Auswertung genutzt werden, wenn zumindest eine Maßstabsinformation in den Bildern enthalten ist. In diesen Anwendungsgebieten steht nur in den seltensten Fällen die verformungsgerechte Modellierung im Vordergrund, vielfach wird sogar nur ein konsistentes Datenmodell gefordert, das ein Gebäude z.B. durch idealisierte gerade Kanten, parallele Linien und rechtwinklige Ecken beschreibt. Bei Integration in ein CAD-System können hierfür die Konstruktionshilfen des CAD-Systems genutzt werden, z.T. sind auch spezielle Homogenisierungsfunktionen in die Programme zur Mehrbildauswertung integriert [z.B. PHIDIAS, 2001].

Für derart einfache Anwendungen kann eine typisierte Erfassung auf der Grundlage von vordefinierten Prototypen eine effektive – aber nicht verformungsgerechte – Bauaufnahme ermöglichen.

In Verbindung mit der objektorientierten Arbeitsweise der CAD-Programme ist die Mehrbildphotogrammetrie als Erfassungswerkzeug zu verwenden, wenn ein digitales Datenmanagement in Kombination mit Datenbanken oder Geographischen Informationssystemen aufgebaut werden soll, so z.B. im Facility-Management, aber auch für eine denkmalpflegerische Inventarisierung oder zur Erstellung eines digitalen Raumbuches[75].

Einen immer größeren Anteil nehmen Anwendungen der Mehrbildphotogrammetrie im Bereich der Computervisualisierung ein[76]. Auch hier ist eine dreidimensionale, objektorientierte Arbeitsweise unbedingt notwendig, da nur so dreidimensionale Objektmodelle erzeugt und visualisiert werden können.

Die hohe Flexibilität der Mehrbildphotogrammetrie kann bei großen Bauaufnahmeprojekten in der Denkmalpflege oder Bauforschung ein entscheidendes Auswahlkriterium darstellen. In diesen Anwendungen werden vielfach unterschiedliche Kameratypen mit verschiedenen Brennweiten eingesetzt, die je nach den örtlichen Verhältnissen in allen denkbaren geometrischen Konstellationen zueinander angeordnet sind [z.B. BENNING, 2000; HOFFMANN et al., 2000]. Hier ist nur die Mehrbildphotogrammetrie in der Lage, alle Aufnahmen in einem gemeinsamen Strahlenbündel (Abb. 5.38) zu einem konsistenten Datenmodell höchster Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu verknüpfen. Da derartige Projekte bis zu weit über 100 Bilder enthalten können, bietet sich zur effektiven Projektabwicklung eine mehrstufige Auswertestrategie an. Wie Abbildung 5.39 zu entnehmen ist, sollte in einem ersten Schritt ein aus wenigen Bildern bestehender Verband mit kleinerem Maßstab aufgenommen und ausgewertet werden, der das gesamte Objekt abgedeckt. Für die äußere Orientierung dieses Bildbündels ist es ausreichend, wenige Passpunkte am Objekt geodätisch zu bestimmen. Um die eigentliche Objektauswertung ausführen zu können, sind weitere Aufnahmen größeren Maßstabes anzufertigen, die eine bessere Interpretation zulassen. Zur Orientierung dieser Aufnahmen sind wiederum die im Rahmen der Bündelblockausgleichung des Übersichtsverbandes berechneten Neupunkte zu verwenden. Bei diesen Neupunkten kann es sich sowohl um künstliche Zielmarken wie um eindeutig zu identifizierende natürliche Punkte handeln.

In Verbindung mit automatischen Messalgorithmen wird innerhalb der Mehrbildphotogrammetrie eine besonders hohes Genauigkeitspotenzial der geometrischen Modellierung ermöglicht. Durch die automatische Messung von Punkten und Linien wird die Messgenauigkeit der Bildkoordinaten gegenüber einer mit der Hand ausgeführten Messung um den Faktor 10 (z.T. Faktor 100 und mehr) gesteigert. Die Einbeziehung aller Grauwerte des Messpunktes einschließlich der ihn umgebenden Bildinformation ermöglicht eine Messgenauigkeit, die wesentlich höher ist als die Auflösung des digitalen Bildes. In Abhängigkeit des verwendeten Verfahrens kann diese von 0,1 - 0,005 Pixel reichen [LUHMANN, 2000]. Automatische

[74] Die hierfür ebenso einzusetzende reflektorlose Tachymetrie in Verbindung mit CAD-Programmen ist unter Kap. 5.2.3, 'Online-Darstellung tachymetrischer Messungen' behandelt worden.

[75] vgl. Kap. 4.3, 'Datenstrukturierung und -darstellung'

[76] Das Programmsystem PhotoModeler wendet sich speziell an diesen Nutzerkreis [PHOTOMODELER, 2001].

Messalgorithmen werden in allen digitalen Programmen der Mehrbildphotogrammetrie zur Réseaukreuzmessung eingesetzt und finden somit Eingang in die Berechnung der inneren Orientierung. Die automatische Messung von codierten Messmarken als Pass- oder Verknüpfungspunke ist in der Architekturphotogrammetrie prinzipiell möglich und wird zum Teil auch angewendet [z.B. WIEDEMANN, 2001]. Hierdurch wird nicht nur eine Verbesserung in der Genauigkeit der Bildorientierungen erreicht, sondern darüber hinaus eine Verkürzung des Zeitbedarfs für die Passpunktmessung.

Durch die Automatisierung wird der eigentliche Messvorgang vom menschlichen Auswerter zum Computer verlagert. Die Geometriebestimmung wird hierdurch objektiviert, die persönlichen Einstellfehler des Auswerters können das Ergebnis nicht mehr beeinflussen. Ist der Messpunkt in mehreren Bildern des Bildverbandes zu messen, können gleichzeitig Aussagen zur Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit getroffen werden. Wie oben bereits beschrieben ist diese Überlegung Grundgedanke des Programmsystems DIPAD [STREILEIN, 1998], in dem die Objektauswahl manuell und die eigentliche Messung automatisch erfolgt. Diese Strategie kann sehr effektiv eingesetzt werden, wenn sich Bauaufnahmeobjekte durch das Grundelement einer geraden Linien beschreiben lassen.

Soll jedoch eine verformungsgetreue Erfassung für die Bauforschung oder Denkmalpflege vorgenommen werden, kann dieser halbautomatische Ansatz nicht in jedem Fall eingesetzt werden. In diesen Anwendungsfällen sollen gerade die Abweichungen von der geraden Kante erkannt und modelliert werden. Auch wenn die Modellierung theoretisch soweit verdichtet werden kann, bis die tatsächliche verformungsgerechte Geometrie repräsentiert wird, so kann die automatische Kantenmessung den Erkenntnisprozess der gesamten Bauaufnahme stören. Ist eine Kante erst einmal als gerade Linie modelliert, kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Kante vom Auswerter als Endergebnis der Erfassung akzeptiert wird, ohne dass eine weitere Überprüfung und somit auch keine Verdichtung stattgefunden hat.

Ein ähnlicher Einfluss ist beim integrierten Einsatz von Mehrbildphotogrammetrie und CAD zu berücksichtigen. Die Konstruktionshilfen und Homogenisierungsfunktionen sind für eine einfache Erfassung sehr nützlich, aber unter dem Anspruch einer verformungsgerechten Modellierung unter keinen Umständen einzusetzen[77]. Beim Einsatz von vordefinierten Prototypen ist genau zu prüfen, ob das Original diesen tatsächlich entspricht. Nur so kann verhindert werden, dass eine idealisierte Sollgeometrie anstelle der tatsächlichen Objektgeometrie modelliert wird.

5.3.5 Automatische photogrammetrische Verfahren

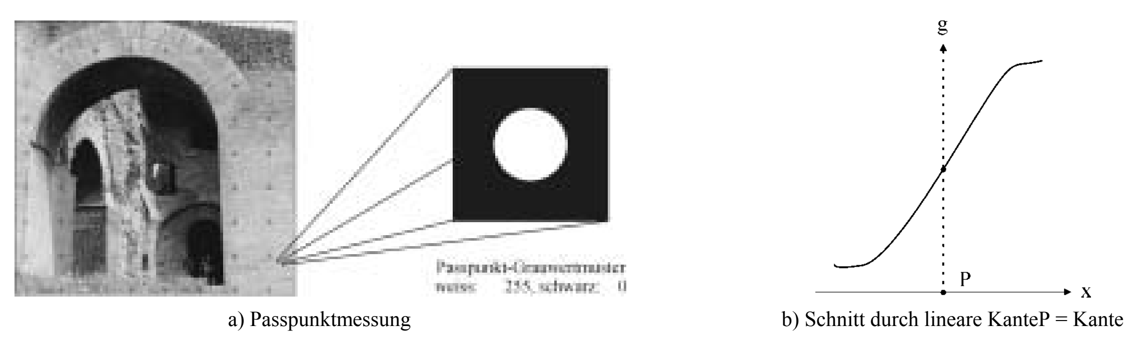
Die digitale Photogrammetrie kann ihre technische Leistungsfähigkeit besonders dann unter Beweis stellen, wenn die geometrische oder inhaltliche Auswertung automatisch ausgeführt wird und damit nicht nur eine höhere Effektivität, sondern oft auch eine größere geometrische Genauigkeit zu erzielen ist. Die möglichen Anwendungen automatischer Verfahren sind im gesamten photogrammetrischen Arbeitsprozess anzutreffen – von der Réseaukreuzmessung als eine Grundlage zur Berechnung der inneren Orientierung bis zur Interpretation von Bildinhalten durch multispektrale Klassifizierungen oder Bildsegmentierungen.

Bevor im Folgenden einige typische Anwendungen automatischer Verfahren vorgestellt werden, soll einleitend das allen automatischen Methoden zu Grunde liegende Messprinzip erläutert werden, um die mit den Verfahren verbundenen, besonderen Schwierigkeiten in der Architekturphotogrammetrie aufzeigen zu können.

Digitale Bilder sind aus einer geordneten Menge von Bildelementen (Pixeln) zusammengesetzt, deren Größe durch die Auflösung des verwendeten Sensors oder Scanners bestimmt wird. Neben der geometrischen Information zeichnet sich jedes Pixel durch seine radiometrische Eigenschaft aus, d.h. im digitalen Bild sind zu jeder Pixelkoordinate entweder Grauwerte oder Farbinformationen gespeichert. Zur automatischen Auswertung der Bildinhalte müssen die gesuchten Merkmale aus den radiometrischen Informationen einer Gruppe von Pixeln abgeleitet werden. Merkmale sind entweder künstliche bzw. natürliche Objektpunke oder im Bild zu erkennende Kanten, aber auch Regionen gleicher Grauwertverteilungen, die mit keiner semantischen Bedeutung zu verbinden sind. Um die Bildposition eines gesuchten Merkmals in

[77] Dies gilt insbesondere für die CAD-Befehle 'ortho', 'fang', etc.

den einzelnen Bildern bestimmen zu können, sind die selben radiometrischen Strukturen in verschiedenen Bildern zu finden. Für diesen Vorgang der so genannten Bildzuordnung (Image-Matching) werden je nach Aufgabenstellung verschiedene Algorithmen eingesetzt, deren detaillierte Beschreibung aber in diesem Zusammenhang nicht vorgenommen werden soll [vgl. z.B. BÄHR, VÖGTLE, 1998; LUHMANN, 2000; MAAS, 1998]. Ist das gesuchte Merkmal innerhalb des Bildes erkannt worden und sind damit die Bildkoordinaten des Merkmals bestimmt, kann anschließend auf der Grundlage der übrigen geometrischen Bildinformationen (innere und äußere Orientierung) die dreidimensionale Koordinate des Merkmals im Objektraum berechnet werden.



a) Passpunktmessung b) Schnitt durch lineare KanteP = Kante

Abb. 5.42: Automatische Merkmalsextraktion

Eine relativ einfache Aufgabe stellt die Merkmalsextraktion von bekannten Bildstrukturen dar, wie sie in Abbildung 5.42a anhand der automatischen Passpunktmessung illustriert ist. Hierbei ist dem Suchalgorithmus die Grauwertstruktur des künstlichen Passpunktes bekannt und Bild für Bild kann nach dieser Struktur abgesucht werden, um alle Passpunkte im Bildmaterial zu ermitteln. Generell werden die Passpunkte ergänzend mit einer Codierung versehen, um jedem Punkt die korrespondierende Nummer zuordnen zu können.

Ein vom grundsätzlichen Prinzip ähnliches Vorgehen wird zur Detektion und Vermessung von Kanten angewendet. Auch wenn für jede einzelne Kante keine bekannte Grauwertstruktur vorliegt, sind doch genug Informationen über den typischen Grauwertverlauf von Kanten bekannt (Abb.5.42b). Im Gegensatz zur homogenen Grauwertverteilung in unstrukturierten Bildregionen zeichnen sich Kanten und Linien durch einen starken Wechsel der Grauwerte aus. Im Rahmen der automatischen Auswertung wird im gesamten Bild nach dieser typischen Grauwertverteilung gesucht. Dabei ist jedoch nicht jeder durch den Algorithmus ermittelte, kantentypische Grauwertverlauf als wirkliche Kante oder Linie zu interpretieren. Durch ergänzende Untersuchungen muss getestet werden, ob es sich bei dem entdeckten starken Grauwertabfall um eine signifikante linienhafte Struktur handelt oder ob der Grauwertverlauf nur für eine sehr kleine Region festzustellen ist und somit im Sinne der Bildinterpretation nicht als Kante einzuordnen ist.

Die grauwertbasierte Merkmalsextraktion wird ebenfalls eingesetzt, um die Berechnung von dreidimensionalen Oberflächenmodellen zu automatisieren[78]. Bei diesem automatischen Bildverarbeitungsprozess steht jedoch nicht das Erkennen und Vermessen einer bestimmten, inhaltlich zu deutenden Bildstruktur im Vordergrund. Vielmehr werden die Merkmale in den Bildern genutzt, um möglichst viele homologe Objektpunkte in den verschiedenen Bildern einander zuordnen und anschließend über den räumlichen Vorwärtsschnitt aus den Bildkoordinaten die 3D-Objektkoordinaten der Oberfläche berechen zu können.
Die automatische Oberflächenberechnung durch Merksmalsextraktion funktioniert immer dann besonders gut, wenn eine homogene und kontrastreiche Objektoberfläche vorliegt. Architekturobjekte zeichnen sich meistens durch eine inhomogene, mit vielen Unstetigkeitsstellen behaftete Struktur aus. Das Wiedererkennen der selben Objektstrukturen kann nur erfolgen, wenn diese auch in den unterschiedlichen Bildern mit gleichen oder ähnlichen Grauwerten abgebildet werden.

Auf die fotografische Abbildung vom Original in das Bildmodell übt die Beleuchtungssituation zum Zeitpunkt der Aufnahme in Abhängigkeit vom Aufnahmewinkel einen ebenso großen Einfluss aus wie die

[78] Diese Anwendung ist für die Ableitung digitales Geländemodelle aus Luftbildern entwickelt worden.

vielen Unstetigkeitsstellen an Vor- und Rücksprüngen. Diese führen dazu, dass die Umgebung der Kante von zwei unterschiedlichen Richtungen aus betrachtet völlig verschieden in den Bildern abgebildet werden kann (Abb. 5.43). Aus diesen Gründen kann das automatische Image-Matching zur hochauflösenden und genauen Oberflächenmodellierung in der Architektur noch nicht als Standardverfahren eingesetzt werden.





Abb. 5.43: Unstetigkeitsstellen an Objektkanten

Vollständig homogen ausgebildete Oberflächen mit sehr geringem Kontrast – wie an Bauornamentik oder Bauplastik oftmals anzutreffen – sind aufgrund der fehlenden Objektstrukturen nicht ohne weiteres mit den Methoden der Merkmalsextraktion in ihrer Oberflächengeometrie zu bestimmen. Durch die Projektion von künstlichen Texturen in Form von Streifen, Rastern oder so genannten Lichtschnitten kann das Objekt mit Merkmalen versehen werden und ist dann mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu vermessen [vgl. RIECHMANN, THIELBEER, 1997].

Neben den merkmalsbasierten Verfahren können die so genannten Klassifizierungen zur automatischen, inhaltlichen Bildauswertung genutzt werden. Während einer Klassifizierung werden Bereiche gleicher oder ähnlicher radiometrischer Eigenschaften nach inhaltlichen Gesichtspunkten zu einer Klasse zusammengefasst. Sind die radiometrischen Grenzen der einzelnen Klassen festgelegt worden[79], werden die Bildpixel auf die Zugehörigkeit zu den jeweiligen Klassen hin untersucht und entsprechend, meist farbig, markiert. Derartige Klassifizierungen lassen sich nicht nur mit den radiometrischen Informationen des sichtbaren Lichtes ausführen, sondern prinzipiell mit den Signalen aller Wellenlängenbereiche, die durch einen entsprechenden Sensor registriert werden können. Weit verbreitet ist die Verwendung von Infrarotfilm, weiterhin lassen sich alle Wellenlängen in den unterschiedlichsten Kombination für eine so genannte multispektrale Klassifizierung nutzen. Diese in der Fernerkundung entwickelte Methodik ist ebenso für Material- und Zustandsuntersuchungen an Bauwerken geeignet[80].

Die automatischen Zuordnungsmethoden werden zur Unterstützung des Messprozesses in den verschiedenen photogrammetrischen Verfahren eingesetzt, wobei meist eine teilweise, selten eine vollständige Automatisierung der Auswertung vorgenommen wird. Zur automatischen Messung der in Teilmesskameras verwendeten Réseaukreuze sind die automatischen Methoden mittlerweile in jedem Softwareprogramm realisiert. Die Messung von künstlichen Pass- oder Objektpunkten an Architekturobjekten ist besonders aufgrund der kleinen Punktgröße im Verhältnis zur im Bild dargestellten Objektgröße nicht immer leicht zu lösen, kann aber mittlerweile mit hoher Zuverlässigkeit ausgeführt werden [WIEDEMANN, 2001].

Zur Unterstützung der Objektauswertung werden die automatischen Messalgorithmen überwiegend im so genannten halbautomatischen Messmodus verwendet. Hierbei erfolgt die Punktauswahl durch den Anwender in einem Bild und anschließend automatisch in den übrigen Bildern des Bildverbandes durch

[79] Dies kann entweder durch den Nutzer aufgrund von vorher definierten Klassen geschehen oder während der Auswertung in so genannten Trainingsgebieten vorgenommen werden.

[80] Für weitere allgemeine Einzelheiten zum Verfahren der Klassifizierung vgl. z.B. [BÄHR, VÖGTLE, 1998].

Merkmalsextraktion. Dieses Messprinzip wird sowohl in Programmen der Mehrbildauswertung wie zur digitalen Zweibildauswertung eingesetzt[81].

Das Image-Matching zur Ableitung von dreidimensionalen Objektmodellen wird trotz der oben geschilderten Schwierigkeiten zur Erfassung von 3D-Architekturobjekten in zunehmendem Maße eingesetzt. Die große Nachfrage von 3D-Modellen im Bereich der Visualisierung hat die Entwicklung neuer Strategien zur automatischen Erfassung und Modellierung – meist geringer Genauigkeit – vorangetrieben, sodass mittlerweile durch das Image-Matching auch befriedigende Ergebnisse für die großmaßstäbige Modellierung zu erzielen sind [vgl. z.B. PATIAS, TSIOUKAS, 1999; POLLEFEYS et al., 2000].

Die automatische Oberflächenmodellierung kleiner Objekte wie Statuen oder Bauplastik durch merkmalsbasierte Bildzuordnung kann zu den photogrammetrischen Standardverfahren gezählt werden [vgl. FARADAY, 2001; POMASKA, 2001b]. Hierbei werden alle verfügbaren Methoden angewendet, von der merkmalsbasierten Zuordnung natürlicher Texturen [z.B. IMAGEMODELER, 2001] über das Lichtschnittverfahren [z.B. KREON, 2001; MENSI, 2001; VI-300, 2001] bis zur Auswertung von auf die Oberfläche projizierten Strukturmustern [z.B. EYETRONICS, 2001; 3D-1500, 2001].

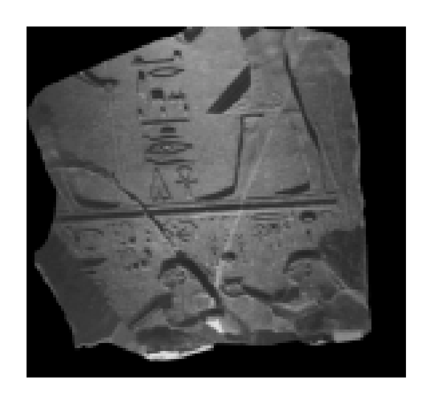


Abb. 5.44: Ägyptisches Relief, erfasst durch Lasertriangulationsverfahren mit einer Auflösung von 0,1 mm [MENSI, 2001]

Ergebnis aller merkmalsbasierten Oberflächenmodellierungen sind die Koordinaten einer unstrukturierten Punktwolke, aus denen das Oberflächenmodell z.B. durch eine Dreiecksvermaschung abgeleitet werden muss[82]. Es wird demnach keine inhaltlich, sondern eine geometrische geprägte Auswertung durchgeführt. Die eigentliche inhaltliche Auswertung muss im Anschluss an die Modellierung am 3D-Modell erfolgen. Dieses 3D-Modell kann besonders die Geometrie von Objekten kleinerer Ausdehnung mit hoher Auflösung und Genauigkeit (z.T. 0,1 mm und besser) bereitstellen. Werden die natürlichen Texturen auf das 3D-Objekt aufgebracht, ist nicht nur eine beeindruckende Visualisierung zu erzeugen, sondern gleichzeitig ein nahezu identisches Modell des Originals, das auch für vertiefende inhaltliche Untersuchungen genutzt werden kann. In der Bauaufnahme ist z.B. die Erfassung von Kapitellen und Baugliedern auf diese Art und Weise denkbar, wobei sicher eine Überarbeitung im Angesicht des Originals stattfinden sollte. Das automatisch erzeugt 3D-Modell kann für diese Zwecke einen geometrischen Bezug hoher Genauigkeit bereitstellen, in den alle ergänzenden Beobachtungen und Analysen eingefügt werden können.

Die vollautomatische Detektion von Kanten und Linien kann unter Umständen eingesetzt werden, um Bildinhalte im Verlauf einer so genannten Bildsegmentierung voneinander differenzieren zu können. Ein typisches Beispiel für die automatische Bildsegmentierung stellt das steingerechte Aufmaß von großflächigem Mauerwerk dar. Sofern die Steine des Mauerwerks durch klar zu erkennende Fugen voneinander getrennt sind, lassen sich die Kanten an den Übergängen vom Stein zur Fuge automatisch extrahieren. Durch die Kombination der Kantenextraktion mit anderen Verfahren der Bildvorverarbeitung kann ein Verbesserung der Bildsegmentierung erreicht werden [vgl. RODEHORST, 1997], wobei aber eine vollständige Erfassung aller Steine nicht zu erzielen ist. Diese Methode der Steinkartierung ist als Kartierungsgrundlage zu verwenden, wobei automatisch nicht richtig erkannte Steinfugen manuell korrigiert werden müssen. Die durch die Automation erzielte Zeitersparnis kann jedoch nicht für alle Anwendungen

[81] vgl. Kap. 5.3.4.2, 'Mehrbildauswertung und CAD' sowie Kap. 5.3.3.3, 'Anwendungspotenziale der stereoskopischen Auswertung'

[82] vgl. Kap. 5.3.2.4, 'Differentielle Entzerrung' sowie Kap. 5.2.4, 'Scannende tachymetrische Verfahren'

der Bauaufnahme genutzt werden. Insbesondere für die Zwecke der historischen Bauforschung wird eine automatische Steinkartierung in der Regel nicht akzeptiert, weil die visuelle Bildinformation nicht ausreicht, um eine qualitativ hochwertige Steinkartierung anzufertigen (vgl. Abb. 4.1). Hierfür ist ein vor Ort ergänzend ausgeführte Aufnahme im Handaufmaß unbedingt notwendig.

Die inhaltliche Aufteilung der Bildinformationen durch Klassifizierungen gehört wie die automatische Bildsegmentierung durch Kantenextraktion zu den wenig genutzten photogrammetrischen Verfahren. Dabei sind auch hier Anwendungen vor allem bei restauratorischen Fragestellungen denkbar. Wenn es darum geht, Materialien in ihrer Zusammensetzung und in ihrem Zustand zu erfassen, kann besonders die multispektrale Klassifizierung neue Möglichkeiten eröffnen [vgl. HECKES et al., 2000; LERMA et al., 2000]. Die Klassifizierung der an einem Bauwerk verwendeten Baumaterialien ist ebenfalls geeignet, wertvolle Aufschlüsse über die Bauabfolge und damit über die historische Einordnung zu geben.

5.3.6 Photogrammetrie und Kulturgüterschutz

In den vorausgegangen Kapiteln sind die technischen Möglichkeiten photogrammetrischer Methoden als Erfassungswerkzeug für die Bauaufnahme eingehend betrachtet worden. Dabei wurde dargelegt, welche geometrischen und inhaltlichen Informationen aus Bildern gewonnen werden können und wie diese in den verschiedenen Anwendungsgebieten der Bauaufnahme zu nutzen sind. Neben der zielgerichteten Anwendung im Rahmen einer umfassenden Bauaufnahme beinhaltet das photogrammetrische Bildmaterial ein Nutzungspotenzial, das weit über den Zeitpunkt der unmittelbaren Auswertung hinausreicht: Alle photogrammetrischen Bilder dokumentieren den Bauwerkszustand zum Zeitpunkt der Aufnahme in seiner inhaltlichen wie geometrischen Aussage. Der photogrammetrische Bildverband stellt ein Bildarchiv in höchster geometrischer Qualität dar, das jederzeit für eine weitergehende Auswertung genutzt werden kann.

Diese den photogrammetrischen Verfahren innewohnende ergänzende Dokumentationseigenschaft wurde bereits zu Beginn der photogrammetrischen Methodenentwicklung von A. Meydenbauer erkannt und in ihrer eigenständigen Bedeutung betont. Ausgehend von einem Denkmalverständnis, das Bauwerke als wichtige historische Zeit- und Kulturzeugen auffasst, bedauert Meydenbauer Ende des 19. Jahrhunderts die fortschreitende Zerstörung der historischen Bausubstanz [MEYDENBAUER, 1896]:

'*Die Bauwerke sind trotz ihrer für die Dauer berechneten Bestimmung unter freiem Himmel der Zerstörung verfallen und jeden Tag bröckelt von der ursprünglichen Masse etwas ab. Was die Natur nicht fertig bringt, vollendet oft unheimlich schnell der Unverstand und der alles vor sich niederwerfende Verkehr.*'

Daraus wird von Meydenbauer die dringende Notwendigkeit einer vorsorgenden, umfassenden Dokumentation aller wichtigen Bauwerke abgeleitet:

'*Die schleunigste und erschöpfende Aufnahme der Bauwerke, gewissermaßen ihre Festlegung in dem heutigen Zustand ist daher dringlich, und zu diesem Zweck müssen alle technischen Mittel herangezogen werden.*'

Mit der von ihm geleiteten Preußischen Meßbildanstalt konnte Meydenbauer den Aufbau eines photogrammetrischen Kulturgüterarchivs ab 1885 verwirklichen. Allerdings blieben die Arbeiten aufgrund der Kulturhoheit der Länder im Wesentlichen auf Preußen beschränkt, sodass Meydenbauers Ziel, die Einrichtung eines gesamtdeutschen Kulturgüterarchivs, nicht realisiert werden konnte. Im Jahre 1921 wurde eine umfangreiche Neuorientierung der Aufgabenbereiche der Meßbildanstalt vorgenommen, mit der Folge, dass die in 'Staatliche Bildstelle' umbenannte Einrichtung vorwiegend Aufnahmen zur kunsthistorischen Dokumentation anfertigte und sammelte. Der photogrammetrische Anspruch war fast vollständig aus dem Aufgabengebiet herausgedrängt worden. Bis zu diesem Zeitpunkt sind in Messbildern 2336 deutsche Bauwerke mit 17864 Platten sowie 302 internationale Bauten[83] mit 2091 Platten dokumentiert worden [KOPPE, 1997].

[83] darunter die Akropolis in Athen und die Hagia Sophia in Istanbul

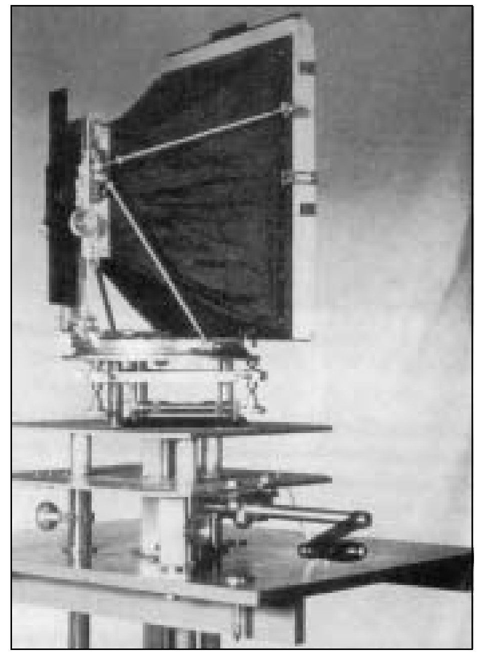


Abb. 5.45: Um 1890 gebaute Messkamera von A. Meydenbauer, 40 x 40 cm² [Li, 1997]



Abb. 5.46: Orangerie im Park Sanssouci in Potsdam, von der Meßbildanstalt 1912 aufgenommen [Li, 1997]

Erst mit Gründung der Meßbildstelle und des Meßbildarchivs am Institut für Denkmalpflege der DDR wurde im Jahre 1968 der Anspruch einer photogrammetrischen Kulturgüterdokumentation wieder aktiv eingelöst. Heute wird der Bestand vom Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege verwaltet[84].

Die Preußische Meßbildanstalt ist wohl bis heute weltweit die einzige Institution geblieben, in der die Anforderungen einer fotografischen Denkmalinventarisierung mit denen einer geometrischen Erfassung im Rahmen einer photogrammetrischen Dokumentation erfüllt werden konnten. Obwohl die Möglichkeiten photogrammetrischer Kulturgüterarchive seitdem immer wieder dargelegt worden sind [vgl. z.B. Foramitti, 1976] ist bis heute der Einsatz photogrammetrischer Verfahren in der Denkmalinventarisierung nicht akzeptiert. Neben den denkmalpflegerisch begründeten Einwänden (vgl. unten) sind sicher auch die knappen Ressourcen der in staatlicher Hand liegenden Denkmalpflege für die fehlende Bereitschaft zum Aufbau photogrammetrischer Denkmalinventare verantwortlich. Alle Mittel, die zur photogrammetrischen Erfassung, Auswertung und Datenpflege eingesetzt werden, können nicht für die 'eigentliche' denkmalpflegerische Arbeit ausgegeben werden. Dennoch kann ein umfangreiches Bildmaterial von historischen Bauwerken einen wichtigen Beitrag leisten, wenn teilweise oder vollständig zerstörte Bauwerke wieder in historischem Zustand hergestellt werden sollen[85].

Zum Aufbau eines photogrammetrischen Kulturgüterarchivs können neben photogrammetrischen Aufnahmen auch normale Amateuraufnahmen in Form von analogen oder digitalen Bilddaten verwendet werden [vgl. Waldhäusl, Brunner, 1988]. Wenn möglich sollten hierbei die Prinzipien einer photogrammetrischen Dokumentation eingehalten werden, um die spätere Bildauswertung mit ausreichender Genauigkeit sicherstellen zu können. Eine sehr gute Hilfe bieten die so genannten 3x3 Regeln zur photogrammetrischen Dokumentation, die nach Art einer Kontrollliste alle wesentlichen Arbeitsschritte vorgeben [3x3, 2001; Waldhäusl, Ogleby, 1994]. Hierdurch soll jeder Tourist in die Lage versetzt werden, seine Urlaubsfotos in photogrammetrischer Qualität anzufertigen. Dabei kann – sozusagen im Vorbeigehen – ein Denkmalarchiv entstehen, das zwar nicht an einem zentralen Ort vorgehalten wird, das aber aufgrund der Fülle der vielen verteilten 'photogrammetrischen Urlaubsfotos' ein umfangreiches Potenzial für die Rekonstruktion von Bauwerken beinhaltet. Um dieses Bildmaterial bei anstehenden Sanierungs- oder Rekonstruktionsmaßnahmen nutzen zu können, muss eine zentrale Vermittlungsstelle eingerichtet werden. Unter der Bezeichnung *A*rchitectural *P*hotogrammetry *I*nformation *S*ystem (APIS) soll an der

[84] zur Geschichte der Meßbildanstalt vgl. [Koppe, 1997; Meyer, 1985, 1997; Schultz, 1986]

[85] Hier können beispielhaft die Rekonstruktion der Berliner Nikolaikirche oder des Dresdener Zwingers [Koppe, 1997] wie auch die aktuellen Beispiele der Dresdener Frauenkirche oder des Berliner Stadtschlosses [Wiedemann, 2000] angeführt werden.

Technischen Universität Wien ein Server betrieben werden, auf den über das Internet Informationen eingespielt wie abgerufen werden können und Hinweise zur Erstellung photogrammetrischer Dokumentationen bereitgestellt werden [HERBIG, WALDHÄUSL, 1997]. Zur Verbreitung der photogrammetrischen Dokumentationsmethode wie zur Etablierung eines allgemeinen Denkmalverständnisses wird dieses Projekt in Österreich unter Beteiligung von Schulklassen durchgeführt.

Der Wert photogrammetrischer Kulturgüterarchive wird aber in der Regel erst in dem Augenblick wahrgenommen, wenn Unterlagen für anstehende Sanierungs- oder Rekonstruktionsarbeiten benötigt werden. Dann sind nicht nur den photogrammetrischen und fotografischen Dokumenten, sondern auch alle sonstigen Planunterlagen, Stichen, Gemälden, Textbeschreibungen usw. wichtige Informationen über die verschiedenen historischen Bauwerkszustände zu entnehmen. Entsprechend muss ein photogrammetrisches Kulturgüterarchiv den Zugang zu allen weiteren Bauwerksinformationen erlauben und diese in einer gemeinsamen Datenbank bereitstellen. Je nach vorhandenem Datenmaterial ist das Archiv folglich in der Lage, die Bauwerksveränderungen von der Entstehung bis zur Zerstörung zu dokumentieren. Ein derartig umfangreiches Kulturgüterarchiv besitzt bereits während seiner Erstellung einen Wert, der für vielfältigste Forschungsaufgaben genutzt werden kann. Sind dann noch umfangreiche photogrammetrische Bilddaten vorhanden, können die Veränderungen bei Bedarf mit hoher Genauigkeit quantifiziert werden. Dieses Kulturgüterarchiv würde den Idealvorstellungen über ein Denkmalinventar sehr nahe kommen[86].

Wie sind nun aber die Geometriedaten aus dem historischen Bildmaterial zu gewinnen, wie kann aus dem Bildarchiv ein geometrisch korrektes Bauwerksmodell abgeleitet werden?

Grundsätzlich sind für die Auswertung von historischem Bildmaterial zur Sanierung oder Rekonstruktion von Bauwerken die konventionellen photogrammetrischen Verfahren einzusetzen. Sind die Aufnahmen unter photogrammetrischen Gesichtspunkten angefertigt worden, lassen sich die in den vorausgegangen Kapiteln beschriebenen Methoden ohne besondere Modifizierung anwenden. Ein wesentliches Problem aller Bilder, die nicht in umfassenden photogrammetrischen Messkampagnen gewonnen worden sind, besteht in der normalerweise fehlenden inneren und äußeren Orientierung der Kameras. In den seltensten Fällen liegen die Kameraparameter- und orientierungen vor oder sind ausreichend Passinformationen am Objekt vorhanden. Dies gilt für die Aufnahmen des Preußischen Meßbildarchivs, zu denen keine weiteren Informationen mehr vorliegen, ebenso wie für alle Amateuraufnahmen. Die Herstellung eines photogrammetrischen Bildverbandes ist ohne bekannte Kamera- oder Objektinformationen nicht durchzuführen. Doch in vielen Fällen können diese Informationen indirekt gewonnen werden, indem z.B. Maße aus eventuell vorhandenen Grundrissplänen der Bauzeit oder aus Katasterunterlagen gewonnen werden. Vielfach sind Teile eines Bauwerks trotz vielfältiger Umbaumaßnahmen nicht überformt, sodass auch heute noch identische Punkte in den historischen Bildern zu finden sind. Sollten die Bauwerke vollständig zerstört sein, lassen sich entsprechende Informationen unter Umständen an zufällig mit abgebildeten Objekten finden. Einfacher ist der gesamte Vorgang, wenn Informationen über die Kamerageometrie bekannt sind. Beispielsweise kann für die sehr stabilen Messkameras von Meydenbauer angenommen werden, dass Teile der inneren Orientierung für die gesamte Aufnahmeserie konstant gewesen sind. Ergänzend können geometrische Zwangsbedingungen, wie die Rechtwinkligkeit oder Parallelität von Bauwerkslinien, für die Rekonstruktion genutzt werden, sodass unter Verwendung der projektiven Geometrie dreidimensionale Modelle aus unkalibrierten Bilddaten [KOCH et al., 1999; POLLEFEYS et al., 1999] oder sogar aus nur einem einzigen Bild abzuleiten sind[87] [STREILEIN, VAN DEN HEUVEL, 1999; VAN DEN HEUVEL, 2001].

Insgesamt sind die zur Verfügung stehenden Informationen für photogrammetrische Rekonstruktion aus Amateuraufnahmen so unterschiedlich in Qualität und Anzahl, dass kein standardisiertes Vorgehen möglich ist und für jeden Fall eine eigene Auswertestrategie gesucht werden muss. In der Literatur lassen sich vielfältige Beispiele für erfolgreiche Rekonstruktionen finden [z.B. HEMMLEB et al., 2001; IOANNIDIS et al., 1996; LI, 1997; VAN DEN HEUVEL, 2001; WIEDEMANN, 2000].

Die bis hierhin angestellten Überlegungen zum besonderen Wert photogrammetrischer Aufnahmen und ihrer Archivierung in den Kulturgüterdatenbanken leiten sich im Wesentlichen aus einer technisch motivierten Faszination der Rekonstruktion zerstörter Bausubstanz ab. Die theoretische Möglichkeit einer

---

86 vgl. Kap. 3.2, 'Anwendung im Rahmen der denkmalpflegerischen Inventarisierung und des archäologischen Surveys' und Kap. 3.4, 'Anwendung in der Denkmalpflege'

87 vgl. Kap. 5.3.2.1, 'Ebene Entzerrung'

umfassenden Rekonstruktion von Vergangenem aus Bildern lässt die photogrammetrische Dokumentation als wirksames Instrument einer vorsorgenden Denkmalpflege erscheinen. Wie aber an der Geschichte der Preußischen Meßbildanstalt unzweifelhaft abzulesen ist, wurde und wird dieser Anspruch von den Entscheidungsträgern in den Denkmalpflegeämter nicht in dem Maße geteilt, dass die bestehenden Denkmalinventare unter Einsatz photogrammetrischer Techniken aufgestellt würden. Vordringlichstes Ziel der Denkmalpflege ist die Erhaltung der Baudenkmale in ihrer materiellen Substanz [BREUER, 1982]. Die Dokumentation wird in erster Linie angefertigt, um fundierte Entscheidungsgrundlagen für anstehende Sanierungsmaßnahmen bereitstellen zu können[88]. Unter diesem Anspruch ist selbst die Denkmalliste als einfachste Form der Denkmalinventarisierung in der Lage, den Schutz des Bauwerks sicherzustellen. Keine Dokumentation – ganz gleich mit welcher Methode angefertigt – kann gewährleisten, dass ein Bauwerk der Zerstörung durch Katastrophen oder Kriegeinwirkungen entgeht. Wie in Kapitel 2, 'Vom Original zum Modell' ausgeführt, kann im Rahmen einer Bauaufnahme kein identisches Modell vom Original erstellt werden, weil die Dokumentation immer unter einem bestimmtem Zweckbezug und unter den subjektiven wie zeitbedingten Einflüssen angefertigt wird. Damit kann eine vorsorgende Dokumentation nicht den späteren Anforderungen einer wissenschaftlichen Auswertung oder einer wiederherstellenden Rekonstruktion genügen. Dies gilt insbesondere für alle photogrammetrischen Dokumentationsverfahren, mit denen ausschließlich die Objektoberfläche als Bauwerkshülle und nicht die vielschichtigen, sich durchdringenden und überlagernden Bauwerksphasen zu erfassen sind. Der komplexe Denkmalwert kann durch eine photogrammetrische Dokumentation nicht erfasst werden und ist während einer Rekonstruktion nicht wieder herzustellen[89]. Ohne wissenschaftliche Analyse stellt das photogrammetrische Datenmaterial eine Ansammlung von Phänomenen dar [LAGERQVIST, 1996]. Die Rekonstruktion ist als konventioneller Neubau einzuordnen, der nur noch als Platzhalter für die ursprüngliche Denkmalidee stehen kann [HASPEL, 2000]. Das Bauwerk ist unwiederbringlich als Zeugnis der Geschichte vernichtet und wird als Rekonstruktion in seiner Funktion als Stadtkulisse wiederhergestellt [CRAMER, 1988]. Für diese Aufgabe reichen aber in der Regel ein paar konventionelle Fotografien, die ungefähren Ausmaße und eine solide Kenntnis der Handwerker über die Formensprache der zu rekonstruierenden Bauornamentik.

Dennoch kann die Photogrammetrie auch auf diesem Sektor Wesentliches leisten, indem die photogrammetrischen Methoden als ein Verfahren der umfangreichen, wissenschaftlichen Bauwerksdokumentation eingesetzt werden. Wird die Dokumentation unter einer definierten wissenschaftlichen Fragestellung ausgeführt, kann auch im Nachhinein auf der Grundlage dieser Dokumentation eine differenzierte Auseinandersetzung mit dem Bauwerk erfolgen; die Dokumentation kann in diesem Sinne eine Sekundärquelle darstellen [BREUER, 1982]. Hier sollte die Photogrammetrie in Kombination mit allen anderen Bauaufnahmemethoden eingesetzt werden, um das in den vorausgegangenen Kapiteln aufgezeigte spezifische Potenzial effektiv nutzen zu können[90].

Im Rahmen von Denkmaltopographien und Ortsbildanalysen ist ebenfalls die Integration photogrammetrischer Methoden denkbar. In beiden Bereichen werden in der Regel umfangreiche fotografische Dokumentationen der Bauwerksfassaden angefertigt, die bei Berücksichtigung der photogrammetrischen Belange gleichzeitig für einfache geometrische Auswertungen genutzt werden könnten. In diesen Bereichen sollte der wenig höhere Aufwand photogrammetrischer Dokumentationen nicht gescheut werden, können diese doch als Grundlage für eine Entzerrung oder zur Visualisierung in Form von 3D-Modellen eine bessere geometrische Qualität und höhere Anschaulichkeit ermöglichen.

Die Eignung photogrammetrischer Bilddaten als Informationsbasis für die Bauwerksuntersuchung wird im Kapitel 6.3, 'Photogrammetrische Objektmodelle als Informationsbasis großer Bauwerke', vertiefend behandelt.

---

[88] vgl. Kap. 3.4, 'Anwendung in der Denkmalpflege'

[89] Ganz abgesehen davon, dass bei jeder Rekonstruktion eine Auseinandersetzung zu führen ist, welcher historische Zustand wiederhergestellt werden soll. Vielleicht sollten hier die Möglichkeiten virtueller Rekonstruktionen verstärkt genutzt werden.

[90] So wird z.B. auch am Landesdenkmalamt Baden-Württemberg keine vorsorgende photogrammetrische Dokumentation betrieben, wohl aber werden photogrammetrische Verfahren bei konkretem Anlass und unter wissenschaftlichen Fragestellungen als Bauaufnahmeverfahren eingesetzt [ECKSTEIN, 1986].

6 Bauaufnahmestrategien

Die im vorausgegangenen Kapitel beschriebenen Bauaufnahmemethoden können die Anforderungen der verschiedenen Anwendungsgebiete in unterschiedlichem Umfang erfüllen. Dabei ist für die einzelnen Methoden dargelegt worden, inwieweit deren spezifisches Potenzial für die jeweilige Zielstellung der Bauaufnahme genutzt werden kann. Gleichzeitig weisen alle Verfahren typische Beschränkungen auf, die dazu führen, dass es keine universell einsetzbare Methode gibt, mit der alle Bauwerke umfassend modelliert werden können. Im nachfolgenden Kapitel soll deshalb herausgearbeitet werden, dass durch eine Kombination der Methoden innerhalb eines weitreichenden Bauaufnahmekonzeptes eine Verbreiterung der Informationsbasis vorgenommen werden kann und letztendlich eine höhere Qualität der Bauaufnahme zu erzielen ist. Genauso wie es jedoch keine universell einsetzbare Bauaufnahmemethode gibt, kann auch keine allgemein gültige Strategie formuliert werden, die für alle Anwendungsfälle der Bauaufnahme einen Weg zum besten Ergebnis vorgibt.

Anhand von grundsätzlichen Überlegungen wird einleitend gezeigt, dass die Kombination der verschiedenen Methoden in der Lage ist, eine höhere Qualität der Bauaufnahme zu erreichen. Dabei geht es im Wesentlichen um die gemeinsame Anwendung der geodätisch bzw. photogrammetrisch ausgerichteten Verfahren mit den einfachen Aufnahmemethoden im Handaufmaß. Die Auseinandersetzung zwischen diesen Disziplinen um die beste Bauaufnahmemethode wird für das Anwendungsgebiet der historischen Bauforschung mitunter kontrovers geführt, weil hier nicht nur die Ansprüche an die inhaltliche wie geometrische Modellierung besonders hoch sind, sondern auch eine lange Tradition der Zusammenarbeit besteht. Im Bezug auf diese hohen Anforderungen der historischen Bauforschung werden theoretische Aspekte ebenso, wie ganz praktische Hinweise entwickelt.

Für eine umfassende Bauwerksdokumentation kommt den photogrammetrischen Methoden aufgrund ihres hohen Dokumentationswertes eine gesonderte Bedeutung zu. Auf welche Art und Weise sich dieses Potenzial im Sinn einer photogrammetrischen Informationsbasis für die Bauaufnahme einbringen lässt, wird vom einfachen Bildarchiv bis hin zum komplexen dreidimensionalen Voxelmodell belegt.

Die methodischen Bauaufnahmestrategien werden in diesem Anschnitt insbesondere für alle historisch ausgerichteten Bauaufnahmen entwickelt. Gleichzeitig lassen sich aber die prinzipiellen Erkenntnisse auf alle anderen Bauaufnahmebereiche übertragen. Um jedoch die Akzeptanz der Bauaufnahme in den vielfältigen Anwendungsgebieten insgesamt zu verbessern und dadurch die Möglichkeiten einer methodenkombinierenden interdisziplinären Bauaufnahme in der täglichen Praxis der vielfältigen Bauwerksdokumentation zu nutzen, sind über die methodischen Fragen hinausgehende Aspekte im Rahmen einer umfassenden Strategie zu berücksichtigen. Diesem Ziel sollen die abschließenden Betrachtungen über die Einordnung der geometrischen Bauaufnahme in das weite Feld der Bauwerksuntersuchung dienen.

6.1 Eine methodenintegrierende, interdisziplinäre Bauaufnahmestrategie

Das Kapitel zur allgemeinen Modellbildung schließt mit der Feststellung, dass zwei an die Bauaufnahme gestellte Anforderungen offensichtlich nicht miteinander vereinbar sind. Zum einen wird von der Bauaufnahme größtmögliche Objektivität verlangt, um eine breite und vielfältige Nutzung der Bauaufnahmeergebnisse zu ermöglichen; das durch die Bauaufnahme erstellte Modell soll dem Original möglichst umfassend entsprechen. Zum anderen ist die Modellierung während der Bauaufnahme nur durch eine Bewertung der am Original abzulesenden Informationen durchzuführen; diese Bewertung kann nur subjektiv von einer Person bezogen auf einen bestimmten Zweck unter zeitlich gebundenen Umständen vorgenommen werden, wobei Fehler in geometrischer und inhaltlicher Hinsicht nicht auszuschließen sind.

Vielfach wird bei unkritischer, oberflächlicher Bewertung den einzelnen Bauaufnahmemethoden entweder eine hohe Objektivität oder eine zielgerichtete, subjektive Bewertung während der Erfassung unterstellt. Nicht selten werden beispielsweise die photogrammetrischen Methoden ohne Einschränkungen als objektiv gewertet, oder das verformungsgerechte Handaufmaß wird als einzig praktikables Verfahren für die Anwendung in der historischen Bauforschung angesehen. Die Stärken und Schwächen der einzelnen Verfahren sind für sich genommen in den jeweiligen Kapiteln erörtert worden. Dabei wurde jedoch weder der Einfluss der Bauaufnahmesubjekte auf die Methode vertiefend erörtert, noch wurden die Verfahren auf ihr Leistungspotenzial in Kombination mit anderen Methoden untersucht.

Bei einer umfassenden Bewertung der Modellbildung für die Bauaufnahme üben jedoch gerade diese beiden Faktoren eine entscheidenden Einfluss aus. Obwohl die Diskussion um die 'richtige' Bauaufnahme überwiegend anhand der eingesetzten Methoden geführt wird, ist deren direkte Auswirkung auf das Modellierungsergebnis eher gering einzuschätzen. Wesentlich entscheidender ist die Kompetenz der Ausführenden im Bezug auf die inhaltliche wie geometrische Modellierung, sowie deren Fähigkeit, unterschiedliche Methoden in einer gemeinsamen Strategie zu einem wirkungsvollen Bauaufnahmewerkzeug zu kombinieren. Werden die Bauaufnahmemethoden als geometrische Messwerkzeuge für die inhaltliche Modellierung eingesetzt, muss der Bauaufnehmende eine Vorstellung von dem Objekt entwickeln, welche ihn in die Lage versetzt, die für den Zweck wichtigen Informationen aus dem Konglomerat der am Bauwerk vorzufindenden Informationen herauszufiltern.

Diese Aufgabe wird von Geodäten bzw. Photogrammetern oftmals ebenso unterschätzt, wie von Bauforschern die eigene Kompetenz zur Geometrieerfassung überschätzt wird.

Um einerseits die besondere Kompetenz der beteiligten Fachgebiete aufzuzeigen, aber andererseits auch die jeweiligen Grenzen bezogen auf die umfassende Anforderung der Bauaufnahme klar darzulegen, ist es notwendig, den Vorgang der fachbezogenen Modellbildung sowohl für Geodäsie und Photogrammetrie als auch für die traditionelle Herangehensweise im Handaufmaß detaillierter zu betrachten. Nur bei Kenntnis des den Fachgebieten eigenen Modellierungsverständnisses ist es möglich, eine integrierende Bauaufnahmestrategie anzuwenden, bei der das jeweils spezifische Potenzial für die Modellierung genutzt werden kann.

Geodätische und photogrammetrische Modellbildung

Um das traditionelle Modellverständnis eines Geodäten beziehungsweise Photogrammeters zu verdeutlichen, kann auf die anerkannte Definition der Geodäsie von F.R. Helmert [HELMERT, 1880] zurückgegriffen werden:

Die Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche.

Obwohl nicht explizit genannt, schließt diese Definition alle auf der Erde gebauten Objekte mit ein. In ihrer wesentlichen Aussage ist sie ebenso für die Photogrammetrie gültig, die sich von der Geodäsie zwar in den Methoden, aber nicht im grundsätzlichen Modellierungsverständnis unterscheidet.

Die geodätische bzw. photogrammetrische Modellierung bezieht sich auf die äußere Form der Objekte, auf die Objektgeometrie. Das klassische Verständnis der Vermessungskunde reduziert das Objekt auf seine Oberfläche, die vermessen, modelliert und dargestellt wird. Der übergeordnete Bedeutungszusammenhang wird nur bei Spezialproblemen mit betrachtet, die wenigsten Objekte werden als inhaltlich komplexe Systeme aufgefasst, bei denen auch über die Geometrie hinausgehende Größen erfasst und modelliert werden müssen[1]. Geodätische und photogrammetrische Vermessungen bestimmen die geometrischen Parameter und beschreiben die Geometrie durch diskrete Punkte, oft verbunden durch geradlinige Verbindungen. Wesentlicher Aspekt dieser Geometriemodellierung ist das quantitative Erfassen der geometrischen Parameter mit der erforderlichen Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Die Integration der verschiedenen geodätischen und photogrammetrischen Verfahren zu einem konsistenten Messsystem ist die Modellierungsaufgabe, mit der sich Geodäten und Photogrammeter durch die Entwicklung neuer Verfahren und Algorithmen beschäftigen. Die Modellierung ist dabei der Vorgang, der aus den Messgrößen Koordinaten und grafische Darstellungen ableitet, die auch bei den ausgedehntesten Bauwerken eine homogene Genauigkeit und Zuverlässigkeit gewährleisten. So sind denn auch die Anlage von Festpunktfeldern oder die hochgenaue Koordinatenbestimmung von klar definierten Objektpunkten klassische Arbeitsbereiche der Geodäsie. Hierbei kommt der Punktauswahl keine besondere Bedeutung im Modellierungsvorgang zu, da die Objektpunkte entweder vom Anwendungsgebiet unzweifelhaft vorgegeben werden oder sich die Auswahl aus den Notwendigkeiten der Netzgeometrie ergibt. Diese Anwendungen können im Sinne der 'Allgemeinen Modelltheorie' nicht als Modellierungsvorgänge eingestuft werden, weil der Modellierungsvorgang nur in metrischer, nicht aber in inhaltlicher Hinsicht ausgeführt wird[2].

---

[1] Ein Beispiel für die Modellierung komplexer Systeme bei geodätischen Fragestellungen ist die Deformationsanalyse, bei der auf das Systeme einwirkende Parameter wie Temperatur, Niederschlag oder Kräfte erfasst und modelliert werden.

[2] Die auf der Grundlage dieser Koordinaten weiterführende Modellierung kann außer acht gelassen werden, wenn kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Punktauswahl und Modellierung vorliegt.

Eine umfassende Modellierung muss aber erfolgen, wenn die Punktauswahl während der Erfassung vorgenommen werden soll. Typisches Beispiel geodätischer Modellierungsvorgänge ist die Aufnahme der Geländemorphologie zur Herstellung einer topographischen Karte. Während dieses Vorgangs soll vom Original der Erdoberfläche ein Modell in Form einer topographischen Karte erstellt werden. Hierbei muss das Kontinuum der Erdoberfläche soweit durch die Punktauswahl vereinfacht werden, dass die Messpunkte die Morphologie der Erdoberfläche repräsentieren und damit gewährleistet ist, dass aus dem reduzierten Modell der topographischen Karte wieder die Wirklichkeit der Erdoberfläche rekonstruiert werden kann. Der auszuführende Modellierungsvorgang findet nicht nur in geometrischer Hinsicht während der Koordinatenbestimmung der Messpunkte statt, sondern während der Punktauswahl auch in inhaltlicher Hinsicht. Die dabei zu leistende Modellierung ist den gleichen Schwierigkeiten unterworfen wie sie für die Bauaufnahme im Kapitel 'Der Modellcharakter von Bauaufnahmen' erläutert worden sind. Auch hier geht es nicht ohne Vorwissen über das Objekt; ohne Kenntnis der morphologischen Geländeformen kann keine hochwertige topographische Karte entstehen. Für die Punkterfassung ist weiterhin zu berücksichtigen, wie die Höhenlinien der topographischen Karte entworfen werden sollen. Geschieht dies in klassischer, manueller Art und Weise, sind weniger Punkte notwendig, aber es ist eine gute Geländeskizze zu führen. Erfolgt die Berechnung des Geländemodells dagegen durch eine automatische Dreiecksvermaschung, ist ein dichteres Punktfeld zu erfassen und sind vor allem die Bruchkanten des Geländes unzweifelhaft mit ausreichenden Punkten zu bestimmen. Nur dann kann das aus dem Geländemodell automatisch abgeleitete Höhenlinienbild die Morphologie der Erdoberfläche bestmöglich wiedergeben. Der Geodät muss demnach während der topographischen Aufnahme die Morphologie des Geländes in seinem persönlichen internen Modell erfassen und unter Berücksichtigung der späteren Punktverarbeitung die Geländepunkte auswählen. Für diese Aufgabe steht dem Geodäten entsprechend seiner Ausbildung und Erfahrung die notwendige Modellierungskompetenz zur Verfügung.

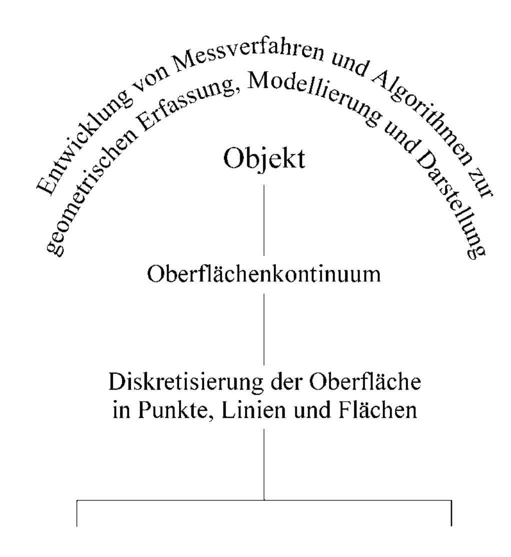


Abb. 6.1: Geodätische bzw. photogrammetrische Modellierungsvorgänge

Zusammenfassend kann für die geodätische Geometrieerfassung festgestellt werden, dass Oberflächen an diskreten Objektpunkten mit höchster Genauigkeit und Zuverlässigkeit modelliert werden können. Die Objektpunke sind dabei entweder zweifelsfrei zu identifizieren oder können auf der Grundlage des geodätischen bzw. photogrammetrischen Fachwissens im Rahmen dieser fachspezifischen Modellbildung ausgewählt werden (Abb. 6.1).

Durch eine Bauaufnahme soll aber nicht nur der sich augenblicklich darbietende Bauwerkszustand erfasst werden, ein wesentliches Ziel ist das Erkennen von zeitlichen Prozessen, indem beispielsweise Modifikationen oder Bauphasen herausgearbeitet werden sollen. Wie werden während einer typischen geodätischen oder photogrammetrischen Modellierung zeitliche Fragestellungen bearbeitet?

In geodätischen und photogrammetrischen Arbeitsfeldern tritt die zeitliche Komponente überwiegend während der Überwachungsmessung von Punktfeldern oder im Rahmen einer Karten- bzw. Datenfort-

führung auf. In beiden Fällen kommt der ersten Erfassung eine besondere Bedeutung zu, weil sich alle weiteren Messungen auf diese so genannte Nullmessung beziehen. Bei Überwachungsaufgaben werden die späteren Folgemessungen in bestimmten Zeitabständen für alle Punkte ausgeführt; eine Fortführung des Daten- oder Kartenbestandes wird immer dann vorgenommen, wenn sich gravierende Veränderungen gegenüber der ersten Erfassung feststellen lassen. Durch diese über die Zeit vorliegenden Daten können die geodätischen und photogrammetrischen Modellierungen zwar für eine historische Analyse genutzt werden, doch ist dieses weder bei der Überwachungsmessung noch in der Kartenfortführung das vordringliche Ziel. Für die Kartenwerke soll ein vollständiger Datenbestand aufgebaut werden, der den Objektzustand für den aktuellen Zeitpunkt wiedergibt. Bei vielen Aufgabenstellungen der Überwachungsmessung soll von den Punktpositionen vergangener Messepochen über die aktuellen Koordinaten eine Prognose für den Objektzustand in der Zukunft berechnet werden.

Generell ist es also nicht der Zweck des aktuellen Karten- oder Datenmaterials die historische Entwicklung widerzuspiegeln[3], sodass die Gewinnung von historischen Aussagen aus einem zeitlich gewachsenen Planwerk nicht zu den geodätischen Aufgaben gehört. Das Erkennen von verschiedenen Bauphasen und historischen Zuständen aus dem sich augenblicklich darbietenden Bauwerkszustand kann folglich nicht zu den konventionellen geodätischen oder photogrammetrischen Kompetenzen gerechnet werden. Dennoch stellen die in unterschiedlichen Zeiten aufgestellten Messreihen und Objektbeschreibungen in Form von Plänen, Karten oder photogrammetrischen Messbildern ein Informationsmedium über historische Abläufe dar.

Eine besondere Bedeutung kommt dabei den photogrammetrischen Verfahren zu, die infolge ihrer Dokumentationseigenschaft im Nachhinein für eine inhaltliche und geometrische Auswertung genutzt werden können[4].

Modellierungsverständnis einer historisch ausgerichteten Bauaufnahme

Die Modellierungsvorgänge von historisch ausgerichteten Bauaufnahmen sind in den entsprechenden Abschnitten des Kapitels 'Anwendungsgebiete der Bauaufnahme' kritisch betrachtet worden. Ohne die fachspezifischen Einzelheiten erneut darzulegen, kann für Denkmalpflege, Restaurierung, Archäologie und historische Bauforschung zusammenfassend festgestellt werden, dass die Bauaufnahme einerseits als möglichst vollständige, objektive Dokumentationsmethode verstanden, aber andererseits als analytischer Vorgang aufgefasst wird, durch den eine fachgerechte Bewertung der Bauwerksinformationen ermöglicht werden soll. Nicht selten wird von der Bauaufnahme verlangt, dass als Ergebnis sowohl eine subjektive, zielgerichtete Bewertung als auch eine umfassende, vielfach zu nutzende Dokumentation entsteht (Abb. 6.2).

Der Widerspruch dieser beiden Ansprüche ist besonders im Kapitel 'Der Modellcharakter von Bauaufnahmen', aber auch im Zusammenhang der jeweiligen Anwendungsgebiete verdeutlicht worden. Dennoch muss dieser Widerspruch für eine fachbezogene Bauaufnahme akzeptiert werden, da nur mit der notwendigen Fachkenntnis eine analysierende Bauaufnahme ausgeführt werden kann, die in der Lage ist, die erfassten Informationen in ihrer Funktion für das Bauwerk einzuordnen. Dabei ist die Beschränkung auf die Bauwerksoberfläche nicht ausreichend, weil in den meisten Anwendungsgebieten eine Analyse des gesamten Baukörpers ausgeführt werden soll und darüber hinaus viele an der Oberfläche sichtbaren Informationen nur unter Berücksichtigung angrenzender Bereiche eingeordnet werden können. Nur auf dieser Grundlage eines möglichst objektiven, aber die Informationen subjektiv einordnenden Bauaufnahmemodells kann eine wertende Weiterverarbeitung der Bauaufnahmeergebnisse erfolgen.

Die geometrische Erfassung wird in diesen Gebieten oft mit einfachen Mitteln wie Messband, Zollstock, Lot und Wasserwaage vorgenommen. Diese Vorgehensweise ist für kleinere Objekte ausreichend, manchmal sogar die beste Lösung. Für Spezialprobleme oder größere Objekte kann aber auf diese Art und Weise keine ausreichende geometrische Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit erreicht werden.

[3] Erst mit Einführung moderner Datenkonzepte wird die Genese der Daten in den Datenbestand integriert.

[4] vgl. Kap. 5.3.6, 'Photogrammetrie und Kulturgüterschutz' und Kap. 6.3, 'Photogrammetrische Objektmodelle als Informationsbasis großer Bauwerke'

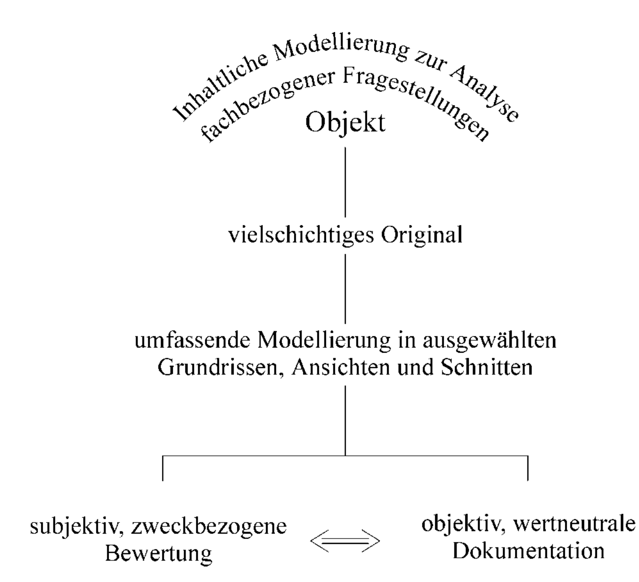


Abb. 6.2: Modellierungsvorgänge historisch ausgerichteter Bauaufnahmen

Moderne, leistungsfähige Messmethoden werden in den historischen Fachgebieten nur selten zur Geometrieerfassung eingesetzt, weil die Handhabung nicht immer ohne geodätisches oder photogrammetrisches Fachwissen zu leisten ist. In diesen Bereichen besteht auch kaum Interesse, die Methodik zur geometrischen Modellierung zu verfeinern, verbessern und zu optimieren, da der inhaltliche Gehalt des Forschungsgegenstand in Vordergrund steht, der in vielen Fällen mit einfachsten Mitteln untersucht werden kann – wenn auch umständlich und aufwändig.

Wird eine schnelle, kostengünstige oder moderne Messverfahren einsetzende geometrische Erfassung angestrebt, wird diese oft von der sonstigen Erfassung abgetrennt und an Dienstleistungsfirmen abgegeben. Bei diesem Vorgehen wird die Bauaufnahme in einzelne Phasen zerlegt, sodass die Modellierung nicht mehr als umfassender Prozess mit einer Gesamtbetrachtung der vielfältigen Objekteigenschaften ausgeführt werden kann.

Weiterhin ist zu beachten, dass die inhaltliche Erforschung eine intensive Auseinandersetzung mit dem Bauwerk erfordert. Diese Beschäftigung soll möglichst direkt im Angesicht des Objektes erfolgen und nicht selten so intensiv und detailliert wie möglich durchgeführt werden. Wird die zeitintensive und direkt am Bauwerk stattfindende Erfassung zum einzigen Kriterium der Bauaufnahmemethodenwahl erhoben, sind alle Verfahren nicht mehr einzusetzen, bei denen die Auswertung teilweise und vollständig an einem Computer im Büro ausgeführt wird oder eine schnelle Erfassungsmethode die Messzeit vor Ort erheblich reduziert.

Ein methodenintegrierendes, interdisziplinäres Bauaufnahmekonzept

Die Bauaufnahme wird in der Regel angefertigt, um für weitergehende Untersuchungen und Analysen ein Modell des Originals bereitstellen zu können, das eine hohe Qualität für den Analysezweck sicherstellt und ergänzend das Original in vielen Fällen möglichst umfassend repräsentieren soll.

Ein wesentlicher Bestandteil der Bauaufnahme ist die Erfassung, Modellierung und Darstellung der Bauwerksgeometrie, die in weiten Teilen an der Objektoberfläche in Form von charakterisierenden Punkten, Linien und Flächen abzulesen ist. Somit sind scheinbar eindeutig definierte geometrische Größen durch die Bauaufnahme zu erfassen, die Punktauswahl stellt aus Sicht der Geodäten oder Photogrammeter keine Schwierigkeit dar, da die Messpunkte am Ende der Bauwerkslinien zweifelsfrei zu identifizieren sind. Im Vergleich mit dem oben genannten Beispiel der tachymetrischen Geländeaufnahme ist die Entscheidung über die zu messenden Punkte ungleich einfacher, die inhaltliche Modellierung wird durch die Bauwerksgeometrie selbst offensichtlich vorgegeben. Durch den Geodäten bzw. Photogrammeter kann bezogen auf die sichtbare und unzweifelhaft zu identifizierende Bauwerksgeometrie eine objektive Bauaufnahme ausgeführt werden.

Bezogen auf den Bauaufnahmezweck zeichnet sich die geometrisch ausgeführte Bauaufnahme durch ihre Distanz zum Bauaufnahmeobjekt aus. Diese Unwissenheit ist auf der einen Seite wesentlicher Nachteil geodätischer oder photogrammetrischer Bauaufnahmen, insbesondere weil während der immer durchzu-

führenden Erfassungsgeneralisierung aus Unkenntnis über die Architekturformen oder andere wichtige Zusammenhänge Informationen nicht modelliert werden.

Wie schwierig die Geometrieerfassung von Bauwerken tatsächlich ist, kann den Abbildungen 3.5 und 3.6 entnommen werden. Dort wird anschaulich deutlich, dass ein Geodät oder Photogrammeter sicher nicht ohne weiteres in der Lage wäre, den hohen Detailreichtum des Fachwerks zu erfassen (Abb. 3.6, rechts). Wird die dort vollzogene Entwicklung von der Genauigkeitsklasse IV zur Klasse I betrachtet, ist offensichtlich, dass die während der Erfassung auszuführende Generalisierung nur mit dem entsprechenden Wissen über Bautechnik, Konstruktion etc. ausgeführt werden sollte.

Die geometrische Erfassung ist aber gleichsam als im besten Sinne naiv zu bezeichnen, da dem Bauwerk ohne Vorbehalte, d.h. ohne Einschränkungen durch eine zu starke Orientierung auf den Modellierungszweck, begegnet wird. In Kombination mit der hohen geometrischen Genauigkeit und Zuverlässigkeit wird hierdurch ein großes Potenzial für eine möglichst umfassende Modellierung bereitgestellt. Dies kann noch verstärkt werden, wenn die photogrammetrischen Verfahren mit ihrem hohen Dokumentationscharakter eingesetzt werden.

Eine ebenso wichtige Bedeutung stellen die inhaltlichen Bauwerksattribute, deren Geometrie nicht unmittelbar an der Objektoberfläche abzulesen ist, für den Modellierungszweck dar. Um diese Informationen erkennen zu können, ist das entsprechende zweckbezogene Fachwissen notwendige Voraussetzung. Nur mit einer fundierten Fachkompetenz ist Bekanntes in seiner Bedeutung für den Modellierungszweck einzuordnen und kann Unbekanntes erfasst und in seiner Relevanz bewertet werden. Die hierfür zu leistende Modellierung wird ohne Zweifel durch die inhaltlichen Ansprüche und Kenntnisse wesentlich beeinflusst; erst wenn diese Aufgabe gelöst ist, kann eine geometrische Modellierung der erkannten Bauwerksparameter vorgenommen werden und das Geometriemodell um diese Informationen ergänzt werden.

Eine umfassende Geometriemodellierung muss demnach sowohl die offensichtliche Bauwerksgeometrie wie alle anderen inhaltlichen Objektattribute im Modell abbilden können. Dabei können die geometrischen und photogrammetrischen Verfahren aufgrund ihrer hohen Genauigkeit wie Zuverlässigkeit – und bei der Photogrammetrie zusätzlich wegen der hohen Informationsdichte und der über den Erfassungszeitraum hinausreichenden Dokumentation – einen großen Beitrag für die geometrische Objektivität und Vollständigkeit leisten.

Selbst wenn sich die von Geodäten oder Photogrammetern angefertigten Bauaufnahmen auf die Erfassung und Modellierung der offensichtlichen geometrischen Größen der Objektoberfläche beschränken, ist dennoch von diesen Bauwerksinformationen nur ein unvollständiges Modell zu erzielen, weil die notwendige fachbezogene Analyse nicht stattgefunden hat (Abb. 6.3). Alle über die offensichtliche Geometrie hinausgehenden Bauwerksattribute können ohne das entsprechende Fachwissen überhaupt nicht erkannt werden.

Ebenso unvollständig kann das Geometriemodell ausfallen, wenn die Erfassung und Modellierung ausschließlich durch den Fachanwender erfolgt (Abb. 6.3). Die große Nähe zum Untersuchungsgegenstand und die zielgerichtete Ausrichtung auf den Modellierungszweck verhindern die für eine objektive Erfassung notwendige Distanz zwischen Modellierungssubjekt und Modellierungsobjekt. Insbesondere bei großen Bauwerken ist obendrein die notwendige geometrische Genauigkeit und Zuverlässigkeit in den wenigsten Fällen durch den Fachanwender selbst zu erzielen.

Da für den Forschungszweck eine inhaltliche Interpretation während des Modellierungsvorgangs unumgänglich ist, sind alle messtechnischen Verfahren mit dem fachbezogenen, inhaltlichen Wissen zu kombinieren.

Damit ist eine hohe geometrische Homogenität, Genauigkeit und Zuverlässigkeit sichergestellt, bei gleichzeitiger inhaltlicher Qualität bezogen auf das Forschungsziel. Werden die Erfassung und Modellierung der offensichtlichen forschungszielunabhängigen Größen von der zielgerichteten Interpretation getrennt, entsteht ein Bauwerksmodell, das auch unter anderen Gesichtspunkten zu späteren Zeiten genutzt werden kann.

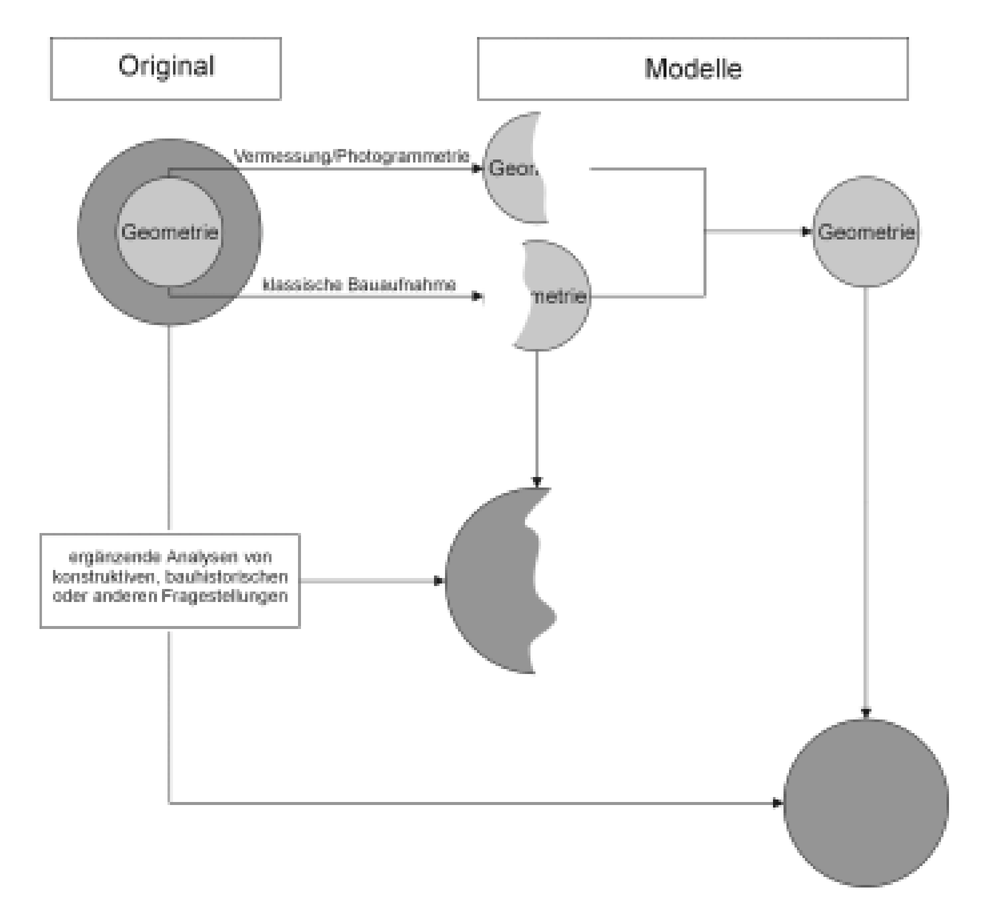


Abb. 6.3: Methodenintegrierende, interdisziplinäre Bauwerksmodellierung

Zusammenfassend kann in Bezug auf die 'Allgemeine Modelltheorie' festgestellt werden, dass die im Modellierungsvorgang entstandenen Geometriemodelle als Grundlage für weitere Fragestellungen einen dominierenden Einfluss auf die umfassende Bauuntersuchung ausüben. Werden die am Originalbauwerk durchzuführenden ergänzenden Analysen, z.B. in konstruktiver Hinsicht, in Verbindung mit den unzureichenden Geometriemodellen vorgenommen, so ist das erarbeitete Gesamtmodell ebenfalls nicht von höchster Qualität. Am Bauwerk gewonnene Befunde können bei einem schlechten Geometriemodell in einen falschen Kontext gestellt werden. Mit dem vollständigen Geometriemodell ist die Grundlage gelegt, um alle weiterführenden Untersuchungen mit der Geometrie zu einem Gesamtmodell zu kombinieren, das wesentliche Eigenschaften des Originals abbilden kann. Hier ist mit dem korrekten Nachweis der Baubefunde im Geometriemodell ein gutes Allgemeinmodell zu erzielen. Das Bauwerksmodell repräsentiert in höchster Übereinstimmung das Bauwerksoriginal (Abb. 6.3).

6.2 Praktische Umsetzung einer methodenkombinierenden Bauaufnahmestrategie

In einer umfassenden, methodenkombinierenden Bauaufnahmestrategie können in der Kombination die Schwächen der einzelnen Verfahren überwunden werden. Wie ist das in dieser Kombination immanente Potenzial konkret zu nutzen? Wie lassen sich die geodätischen und photogrammetrischen Erfassungsmethoden mit der inhaltlichen Auswertung optimal kombinieren? Wo liegen die Schnittstellen, an denen die geometrische und die inhaltliche Modellierung miteinander zu verknüpfen sind?

Um diese Fragen in der praktischen Umsetzung einer die verschiedenen Erfassungsmethoden integrierenden geometrischen und inhaltlichen Bauaufnahme beantworten zu können, lassen sich drei unterschiedliche Vorgehensweisen anwenden, die sich im Wesentlichen durch den Umfang der interdisziplinären Zusammenarbeit unterscheiden:

- konsequente interdisziplinäre Arbeitsweise während des gesamten Prozesses der geometrischen und inhaltlichen Erfassung, Modellierung und Darstellung
- Erfassung der offensichtlichen geometrischen Objektstrukturen, deren abschließendes Ergebnis in Form eines Datenmodells oder einer abgeleiteten Darstellung als Kartierungsgrundlage für weitergehende inhaltliche Auswertungen bereitgestellt wird
- Anlage eines hochwertigen geometrischen Bezugssystems durch geodätische oder photogrammetrische Methoden, das vom Fachanwender für die geometrische Modellierung der inhaltlichen Auswertung leicht zu handhaben ist

Konsequente interdisziplinäre Arbeitsweise

Wird die Bauaufnahme als gemeinsames, interdisziplinäres Projekt über den gesamten Bearbeitungszeitraum aufgefasst, kann besonders für die hohen Anforderungen der historischen Bauforschung die methodenkombinierende Bauaufnahme eine umfassende Modellierung hoher Effektivität ermöglichen [vgl. HOFFMANN et al., 2000; WEFERLING, 2000, 2001; WULF-RHEIDT, 2001].

Dabei ist die Bauaufnahme nicht nur in inhaltlicher Sicht als gemeinschaftliches Projekt für Bauforscher und Geodäten bzw. Photogrammeter zu begreifen, sondern muss während der Durchführung auch in engster personeller Abstimmung und Zusammenarbeit umgesetzt werden. Erst durch interdisziplinär zusammengestellte Bauaufnahmeteams können die weitreichenden technischen Möglichkeiten mit den Forschungsansätzen der Bauforschung eine Symbiose eingehen, die eine effektive Bauaufnahme ermöglicht. Neben der Erweiterung des Methodenspektrums kann in einem kombinierten Vorgehen weiterhin eine Vergrößerung des Modellinhalts erreicht werden. Allein durch paritätisch zusammengestellte Messgruppen kann die Erfassung der Geometrie wesentlich objektiviert werden. In den Gruppen aus Geodäten bzw. Photogrammetern und Bauforschern muss untereinander viel erklärt, erläutert und diskutiert werden. Der dadurch entstehende Zeitbedarf ist kein Verlust an Arbeitszeit, sondern ein Gewinn an zusätzlichen Informationen über das Bauwerk. Durch die hierbei notwendige Verständigung löst sich der Bauforscher von seinem Forschungsziel und erfasst weit mehr Informationen als in einem isolierten Vorgehen mit einem dominierenden Erklärungsmuster im Hinterkopf. Für die Geodäten und Photogrammeter werden dabei auch die Geometrieelemente sichtbar, die ohne baugeschichtliches Fachwissen nicht zu erkennen sind und folglich bei der rein geometrischen Modellierung keine Berücksichtigung finden können. Innerhalb dieser Vorgehensweise findet der Architekt durch den Geodäten bzw. Photogrammeter zu einer objektiven Geometrieerfassung, wie andererseits den Geodäten und Photogrammetern ein Experte mit Kenntnis der spezifischen Architekturelemente zur Seite steht.

In der Zusammensetzung der Arbeitsgruppen muss sich darüber hinaus die Kontinuität widerspiegeln, die für Qualität einer umfassenden Bauaufnahme notwendig ist. Indem die selben Personen für die Aufmaßarbeiten vor Ort wie für später zu leistende Auswertearbeiten eingesetzt werden, ist sichergestellt, dass das am Objekt erworbene Wissen über die Besonderheiten des Bauaufnahmeobjektes in die weiteren Auswertungen einfließen kann.

Diese umfassende, projektbegleitende interdisziplinäre Arbeitsweise lässt sich prinzipiell auf alle Bauaufnahmemethoden vom Handaufmaß bis zur digitalen photogrammetrischen Auswertung anwenden. Wird mit tachymetrischen Verfahren gearbeitet[5], bietet sich die Erfassung mit Online-Darstellung im CAD-System besonders an. Hier kann der Geodät die Messaufgaben mit seiner vorhandenen Fachkompetenz ausführen, der Bauforscher die Punktauswahl am Objekt vornehmen und das Ergebnis direkt im Rechner beurteilen. Ergänzende Messungen im Handaufmaß können sofort in der CAD-Datei ergänzt oder aber auch im Anschluss an die interdisziplinäre Ersterfassung in einem zweiten Arbeitsgang durch den Bauforscher selbständig vorgenommen werden. Wird die Bauaufnahme ohne Online-Datenverarbeitung ausgeführt, sind ergänzend übersichtliche Punktskizzen zu führen, die eine Verdichtung und Ausarbeitung nach dem Ausdruck der Rohkartierung ermöglichen. Die hierbei notwendige Punktmarkierung am Objekt ist nicht nur für die Punktzuordnung zwischen Skizze und Plan wichtig, sondern kann gleichzeitig die Nachvollziehbarkeit der geodätischen Messungen für den Bauforscher ermöglichen. Damit wird eine

[5] vgl. Kap. 5.2, 'Tachymetrische Bauaufnahmemethoden'

zuverlässige Kontrollmöglichkeit eröffnet, mit der das unerlässliche Vertrauen zwischen Bauforscher und Geodät gefestigt werden kann[6].

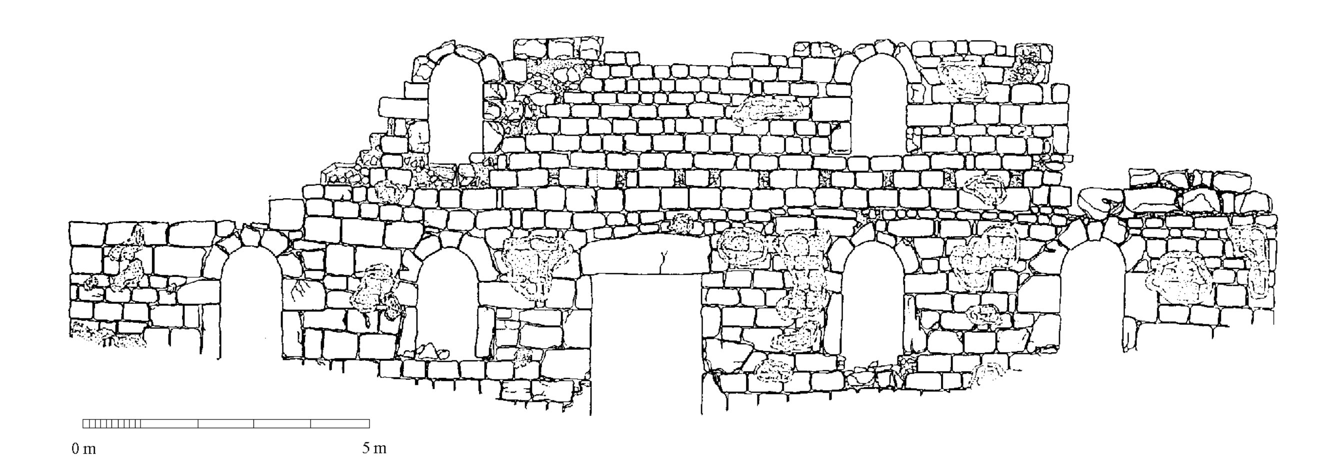


Abb. 6.4: Endergebnis einer interdisziplinär ausgeführten Bauaufnahme (Zeichnung: A. Riedel)

Werden interpretierende photogrammetrische Methoden eingesetzt, ist es möglich, sowohl die Bildaufnahme wie die anschließende Auswertung in interdisziplinärer Arbeitsweise auszuführen. Die bei der Photogrammetrie nicht zu vermeidende Auswertung im Büro kann durch das Verwenden von digitalen Bilddaten und Auswertealgorithmen so weit beschleunigt werden, dass bei entsprechender Ausstattung und Kompetenz der Arbeitsgruppen Ergebnisse in überschaubaren Zeiträumen zu gewinnen sind[7]. Die der Photogrammetrie oftmals zugesprochenen 'langen Auswertezeiten im Büro' müssen so kurz wie möglich gehalten werden, damit der Bezug zum Bauaufnahmeobjekt – möglichst durch die selben Personen – erhalten bleibt und eine Kontrolle, Überarbeitung und Vervollständigung zuverlässig ausgeführt werden kann. Ist dies gewährleistet, wird die Einheit von Messung und Interpretation zumindest indirekt sichergestellt.

Die integrierte, interdisziplinäre Projektbearbeitung kann insbesondere in Forschungsprojekten relativ einfach realisiert werden, weil hier durch die methodenorientierte und die fachbezogenen Bauaufnahme gemeinsame (finanzielle) Ressourcen erschlossen und neue Entwicklungen vorangetrieben werden können. Doch allzu oft wird der interdisziplinären Projektbearbeitung keine Bedeutung beigemessen, wenn eine Bauaufnahme in der denkmalpflegerischen Praxis oder anderen Anwendungsgebieten als ingenieurtechnische Leistung durchgeführt werden soll.

Dann werden die Verfahren getrennt voneinander eingesetzt, was nicht selten dazu führt, dass von einer Arbeitsgruppe ein geodätisches Raumaufmaß der Qualität eines einfachen Architektenaufmaßes angefertigt wird. An eine weitere Fachfirma wird eine photogrammetrische Fassadenauswertung oder -entzerrung vergeben. Es ist möglich, dass beide Ergebnisse für eine denkmalpflegerische Bewertung nicht ausreichend sind und deshalb im traditionellen Handaufmaß erneut erstellt werden müssen. Für die statische Beurteilung sind wieder eigene Grundlagen zu erfassen und die Planung des bauausführenden

6 Ein Problem während des Einsatzes moderner geod./photogr. Methoden in der Bauforschung ist darin zu sehen, dass der Bauforscher nicht immer in der Lage ist, die geod./photogr. Produkte in ihrer Qualität zu beurteilen. Um dieses zu verhindern, reicht es nicht aus, Punktkoordinaten mit statistischen Genauigkeiten anzugeben, sondern es muss vielmehr eine Überprüfung ermöglicht werden, die der Bauforscher mit seinen Methoden leisten kann. Dies können einerseits Kontrollmessungen am Objekt sein, andererseits lassen sich z.B. Schnitte gut durch den Vergleich mit den dazugehörenden Grundrissplänen verifizieren. Dies kommt der traditionellen Arbeitsweise eines Bauforschers nahe, bei der aus den Grundrissplänen die Schnitte abgeleitet werden. Entstehen Grundrisse und Schnitte unabhängig voneinander, ist durch den Vergleich eine wirkliche Kontrollmöglichkeit gegeben. Gegenüber der traditionellen Arbeitsweise kann damit verhindert werden, dass sich eventuelle Fehler im Grundrissplan in den Schnittplan fortpflanzen.

7 Im optimalen Fall steht während der Bauaufnahme ein 'rollendes Büro' zur Verfügung, das auch photogrammetrische Auswertungen im Angesicht des Bauwerks ermöglicht.

Architekten wird nur anhand des mittlerweile in ein CAD-System übertragenen Architektenaufmaßes durchgeführt.

Die hierbei entstandenen Planunterlagen können nicht nur eine höchst unterschiedliche Qualität aufweisen, sondern liegen nicht selten auch in verschiedenen Datenformaten vor – vom in Tusche auf Folie gezeichneten Handaufmaßplan bis zu CAD-Daten der verschiedenen Programmsysteme. Nicht immer wird eine Verbindung zum übergeordneten Koordinatensystem hergestellt und damit nicht einmal die Minimalanforderung für eine spätere vergleichende Auswertung der einzelnen Pläne erfüllt. Schließlich ist mit diesem nicht aufeinander abgestimmten Vorgehen insgesamt ein größerer Aufwand und folglich höhere Kosten verbunden.

Durch eine interdisziplinär angelegte, grundlegende Bauaufnahme, die zu Projektbeginn eine umfassende Bauwerksdokumentation erstellt, können diese Nachteile vermieden werden. In vielen Fällen ist das in einer grundlegenden Bauaufnahme gewonnene Daten- und Planmaterial für weitergehende Untersuchungen ausreichend genau und vollständig. Wird im Verlauf der Projektbearbeitung eine vertiefende oder ergänzende Bauaufnahme notwendig, kann diese punktuell ausgeführt und im Datenmodell wie im daraus abgeleiteten Planbestand ergänzt werden. Doch auch diese zusätzlichen Modellierungen sollten nicht isoliert für die spezielle Fragestellung angefertigt werden, sie müssen vielmehr in das Gesamtmodell integriert werden. Diese Aufgabe kann durch den Geodäten oder Photogrammeter vorgenommen werden, der bei kontinuierlicher Pflege und Fortführung des (digitalen) Datenbestandes alle Detailuntersuchungen über den geometrischen Bezug in ein System integrieren kann. Demnach sollte der Geodät bzw. Photogrammeter nicht nur für die Anlage des geodätischen Festpunktfeldes zuständig sein, sondern darüber hinaus den geometrischen Bezug über den gesamten Projektverlauf sicherstellen und damit die Funktion eines Datenmanagers übernehmen. Ein in dieser Form organisierter Projektablauf erfordert in diese Richtung qualifizierte Geodäten und Photogrammeter, die bereit sind, in engster Kooperation mit allen am Bauwerk interessierten Fachgruppen zusammenzuarbeiten, sodass die geodätische bzw. photogrammetrische Arbeit im Sinne einer allumfassenden geometrischen Projektbetreuung wahrgenommen werden kann[8].

Erfassung der offensichtlichen geometrischen Objektstrukturen als Kartierungsgrundlage

Die interpretierende Erfassung der offensichtlichen, leicht zu erkennenden geometrischen Bauwerksstrukturen erfordert eine geringere Kenntnis der inhaltlichen Bauwerkscharakteristiken. Sofern die geometrische oder photogrammetrische Erfassung, Modellierung und Darstellung auf die Geometrieelemente am Bauwerk, die ohne vertiefendes Fachwissen zu gewinnen sind, beschränkt bleibt, kann je nach Verwendungszweck auf die Beteiligung der Fachanwender während dieser ersten Bauaufnahme verzichtet werden. Das hieraus entstandene Ergebnis in Form eines Bauaufnahmeplanes (Abb. 6.5) oder einer CAD-Datei stellt die geometrische Grundlage für alle weiteren Kartierungen bereit. Während der Erfassung und Modellierung wird keine Objektbildung der einzelnen Geometrieelemente vorgenommen, d.h. die Bauaufnahme ist grafisch orientiert und erzeugt Punkte, Linien und Flächen ohne semantische Bedeutung. Diese Bedeutung muss den Objekten durch den Fachanwender während der weiteren Bearbeitung zugewiesen werden.

Ein Problem dieser Bauaufnahmestrategie ist die Definition der Schnittstelle zwischen geodätischer und fachbezogener Modellierung. Damit alle weiteren Messungen in das vorhandene Geometriemodell mit der notwendigen Genauigkeit zu integrieren sind, müssen die im Modell enthaltenen Objekte eindeutig am Original zu identifizieren sein. Das bedeutet für die Geometriemodellierung, dass beispielsweise Kanten nur soweit erfasst werden, wie sie in ihrem Verlauf eindeutig zu erkennen sind. Nicht zweifelsfrei zu identifizierende Kanten sind gar nicht zu bestimmen, da der Kantenverlauf zwischen Modell und Original nicht eindeutig zuzuordnen ist.

---

[8] Eine Arbeitsweise, die in anderen Bereichen selbstverständlich ist, wenn z.B. der öffentlich bestellte Vermessungsingenieur zur Erschließung einer neuen Baugebietes nicht nur den grundlegenden Lageplan erstellt, sondern auch die Zerlegung der Grundstücke durchführt, die Messungen für die Bauwerksabsteckung vornimmt und die abschließende Schlussvermessung mit dem neuen Bestandsplan erstellt.

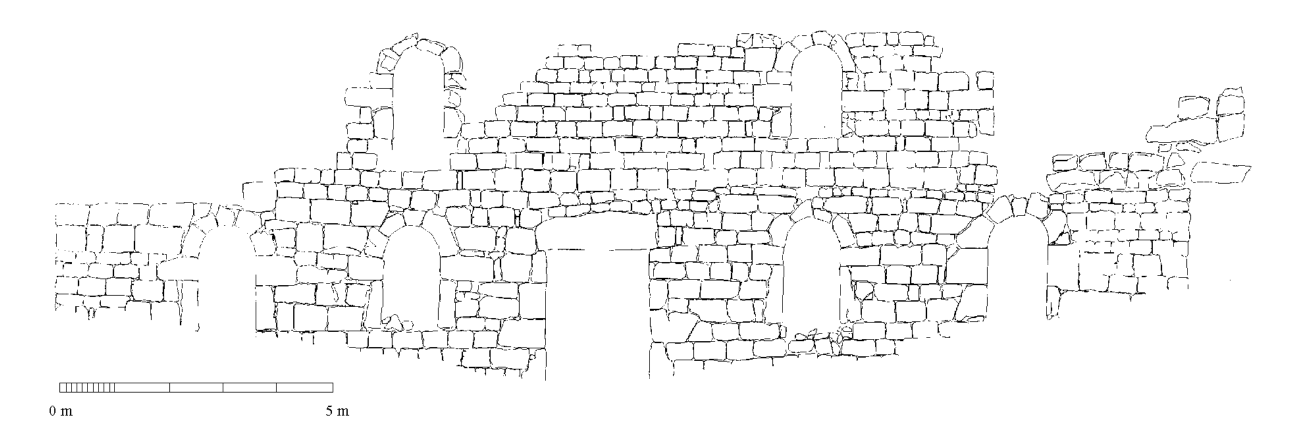


Abb. 6.5: Rohauswertung der geometrischen Bauwerksstrukturen als Kartierungsgrundlage

Hier sollte die Entscheidung über den Verlauf der Kante und die daraus resultierende Modellierung im Bauaufnahmeplan dem Fachanwender vorbehalten bleiben[9]. Für eine zweifelsfreie Zuordnung ist es hilfreich, tachymetrisch gemessene Punkte direkt am Objekt zu markieren; bei Einsatz der digitalen Photogrammetrie können die erfassten Geometrieelemente in die Bilder eingeblendet werden. Im Vergleich zur konsequenten interdisziplinären Arbeitsweise ist mit mehr Fehlern bei der Zuordnung zwischen Geometrieerfassung und inhaltlicher Auswertung zu rechnen.

Demnach kommt es besonders darauf an, ausreichend unzweifelhaft erkennbare Geometrieelemente zu erfassen und im Bauwerksmodell nachzuweisen. Es sollte ein Planwerk entstehen, aus dem die wichtigen Objektstrukturen zu gewinnen sind und das gut als Kartierungsgrundlage für alle weiteren Auswertungen und Messungen verwendet werden kann.

Geometrisches Bezugssystem als Grundlage für die geometrische und fachbezogenen Modellierung

Wird durch geodätische oder photogrammetrische Methoden ein hochwertiges geometrisches Bezugssystem eingerichtet, findet eine inhaltlich interpretierende Modellierung nicht statt. Eine Variante zur Realisierung eines geometrischen Bezugssystems ist die Koordinatenbestimmung eines dichten Punktfeldes (Abb. 6.6) mit geodätischen oder photogrammetrischen Verfahren[10]. Der Punktabstand sollte nicht mehr als 1 m betragen, damit die Auswertung der Fachanwender durch einfache Streckenmessung mit dem Zollstock in ihrer geometrischen Position festgelegt werden können.

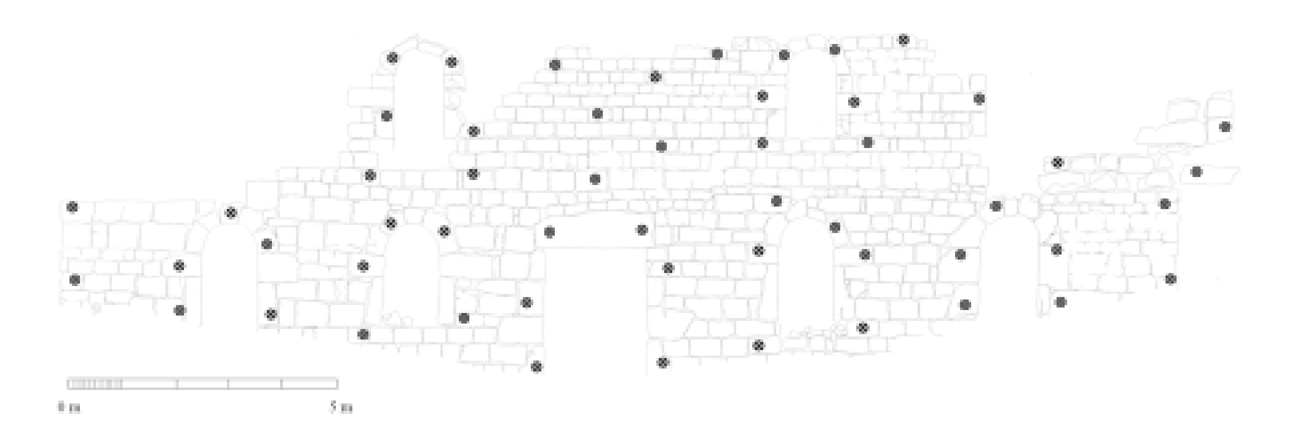


Abb. 6.6: Punktfeld des verdichteten Bezugsnetzes

[9] Dies vor allem auch deshalb, weil eine Kante, ist sie einmal im Plan enthalten, nicht mehr so genau in ihrem wirklichen Verlauf während der Überarbeitung kontrolliert wird.

[10] vgl. Kap. 4.2.3.2, 'Geodätische Festpunktfelder'

Eine hohe Wirtschaftlichkeit ist zu erzielen, wenn beispielsweise die Position codierter Messmarken im Rahmen einer automatischen photogrammetrischen Messung bestimmt werden. Dem Anwender werden die dreidimensionalen Punktkoordinaten entweder in einer CAD-Datei oder in eine Ansichtsebene projiziert ausgedruckt zur Verfügung gestellt.

Eine ganz andere Form des geometrischen Bezugssystems kann in Form von orientierten photogrammetrischen Messbildern realisiert werden. Die modernen digitalen photogrammetrischen Auswerteprogramme sind in der Regel so einfach zu handhaben, dass eine inhaltliche Auswertung an diesen Erfassungssystemen auch vom photogrammetrisch wenig gebildeten Fachanwender vorgenommen werden kann[11]. Eine spezielle photogrammetrische Sachkenntnis ist jedoch für die Aufnahmeplanung, die Passpunktbestimmung, die Bildaufnahme und vor allem für die Orientierung und Verknüpfung der Bilder zu einem den Genauigkeitsansprüchen genügenden photogrammetrischen Bildverband notwendig. Nachdem mit dem Fachanwender eine detaillierte Absprache bezüglich der auszuwertenden Objektbereiche inklusive der für die inhaltlichen Erfassung benötigten Auflösung und Genauigkeit getroffen worden ist, können alle photogrammetrischen Arbeitsschritte ohne Beteiligung der Nutzer ausgeführt werden. Diesem wird dann ein orientiertes Bildmaterial übergeben, mit dem eine dreidimensionale inhaltliche Auswertung selbstständig vorgenommen werden kann.

Weiterhin stellen alle Arten von Entzerrungen ein geometrisches Bezugssystem dar, das als Kartierungsgrundlage für die inhaltliche Auswertung zu verwenden ist. Obwohl die im Zuge einer photogrammetrischen Auswertung entstandenen Entzerrungen keiner beabsichtigten inhaltlich interpretierenden Auswertung unterzogen worden sind, ist durch die Reduktion vom dreidimensionalen Original auf die zweidimensionale Abbildung eine Verringerung des Informationsgehaltes eingetreten. Die im Kapitel 5.3.2, 'Einbildauswertung' formulierten Hinweise und Einschränkungen sind hierbei besonders zu beachten.

6.3 Photogrammetrische Objektmodelle als Informationsbasis großer Bauwerke

Die ambivalente Beziehung zwischen der Bauaufnahme und den photogrammetrischen Erfassungsmethoden ist in den verschiedenen Zusammenhängen schon betrachtet worden. Der in dieser Beziehung immer wieder hervorbrechende Konflikt ist begründet in einer unterschiedlichen Auffassung über den Wert photogrammetrischer Bilddaten für eine umfassende Modellierung von Bauwerken. Von den Photogrammetern wird die hohe Informationsdichte in Verbindung mit der Möglichkeit zur geometrisch Auswertung auf höchstem Genauigkeitsniveau als ausschlaggebendes Kriterium für die uneingeschränkte Eignung als Erfassungsmethode für die Bauaufnahme gesehen. Die Bauforscher, Denkmalpfleger oder Archäologen führen als Grund für die geringe Eignung der photogrammetrischen Verfahren die Beschränkung auf eine Erfassung der Objektoberflächen und die notwendige Trennung von Auswertung im Büro und Bauuntersuchung am Objekt an. Dass dieser Konflikt durch geeignete Bauaufnahmestrategien nicht nur überwunden, sondern zu einer hocheffektiven Bauaufnahmemethode entwickelt werden kann, ist in den beiden vorausgegangenen Kapiteln demonstriert worden. In den dort angestellten Überlegungen wird die Photogrammetrie im Rahmen einer zielgerichteten, konkreten Fragestellung eingesetzt, bei deren Bearbeitung die zeitliche und örtliche Trennung zwischen photogrammetrischer und inhaltlicher Auswertung soweit wie möglich aufgehoben werden sollte. In der dort entwickelten Bauaufnahmestrategie hat der Dokumentationscharakter der photogrammetrischen Bilddaten keine Rolle gespielt. Im Kapitel 'Photogrammetrie und Kulturgüterschutz' sind die Schwierigkeiten einer vorsorgenden photogrammetrischen Dokumentation aufgezeigt worden. Dabei konnte nur ein eingeschränktes Nutzungspotenzial für die inhaltlichen Fragestellungen beispielsweise der Denkmalpflege oder Bauforschung festgestellt werden, wodurch der Schluss nahegelegt wird, dass photogrammetrische Verfahren nur für die sofortige Bearbeitung definierter Fragestellungen effektiv einzusetzen sind.

---

[11] Überdies ist der Einsatz digitaler Photogrammetrie auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisierbar, wird doch neben der Auswertesoftware nur ein handelsüblicher Personalcomputer mit Scanner und Drucker benötigt, vgl. Kap. 5.3.3.2, 'Stereoskopische Auswertung' und Kap. 5.3.4, 'Mehrbildauswertung'.

Diese Schlussfolgerung ist sicher richtig, werden die photogrammetrischen Bilddaten ausschließlich als historisches Archiv betrachtet.

Das photogrammetrische Dokumentationspotenzial gewinnt aber dann wieder an Bedeutung, wenn die Dokumentation in Ergänzung einer zielgerichteten inhaltlichen Auswertung angesehen wird. Sofern die photogrammetrischen Aufnahmen eine inhaltliche Auseinandersetzung nicht ersetzen sollen, sondern die zielgerichtete Auswertung zu gegebener Zeit um zusätzliche Informationen erweitern können, gewinnen photogrammetrische Bildarchive einen Wert für die umfassende Bauwerksmodellierung. Stehen ergänzende photogrammetrische Bilddaten zur Verfügung, kann eine weitere Objektivierung der Bauaufnahme erreicht werden, da sich die im Bauaufnahmemodell enthaltenen Aussagen im photogrammetrischen Modell überprüfen lassen. Dabei tritt die photogrammetrische Bilddokumentation in Ergänzung, nicht in Konkurrenz zur fotografischen Dokumentation von Baubefunden. Die zur Befund- und Maßnahmendokumentation üblicherweise angefertigten Fotografien dienen vielfach nicht vordringlich der objektiven Dokumentation, sondern sollen die während der Bauaufnahme oder der sich anschließenden Bauuntersuchung gewonnenen Erkenntnisse durch Bildbeweis untermauern. Damit sind oft nur die Informationen abgebildet, die auch im Planmaterial zu finden sind.

Bei besonders großen Bauwerken oder ausgedehnten Gebäudeensembles kann ein photogrammetrisches Modell für die Bereiche angelegt werden, die zum Zeitpunkt der Bauaufnahme, aus welchen Gründen auch immer, nicht zu erfassen waren. Hierdurch kann die Bauaufnahme komplettiert und sofern nötig zu späteren Zeiten wenigstens ein Mindestmaß an Informationen gewonnen werden. Die photogrammetrische Dokumentation wird auch angewendet, sollen Veränderungen der Bauwerksoberfläche quantitativ überwacht werden, um z.B. bei größeren Schäden den Zeitpunkt einer Sanierung anhand dieser schnellen und einfachen Dokumentationsmethode festlegen zu können.

Wesentliche Aufgabe der Denkmalpflege ist der Erhalt der Denkmale in ihrer physischen Gestalt. Insbesondere bei großen Baudenkmalen nimmt die Unterhaltung und das Management einen breiten Raum ein, der von kleinen Reparaturen bis zu großen Umbaumaßnahmen reichen kann. Die dabei auszuführenden Maßnahmen erfordern eine umfangreiche Vorbereitung, bei der zur Entscheidungsfindung ausreichend Informationen über das Bauwerk vorliegen müssen. Nicht immer ist es dazu notwendig oder möglich eine umfassende Bauaufnahme der betroffenen Bereiche auszuführen. Um in diesem Managementprozess die notwendigen Informationen bereitstellen zu können, kann ein photogrammetrisches Bauwerksmodell verwendet werden. Dieses Bildmaterial darf aber nicht nur als historisches Archiv betrachtet werden, sondern muss im Sinne einer Informationsverarbeitung als umfassender Wissensspeicher aufgefasst werden [vgl. LAGERQVIST, 1996]. Für die Objektoberfläche stellt die Photogrammetrie ein Datenspeicher dar, aus dem mit dem entsprechenden Fachwissen zu jeder Zeit die in den Bilddaten gespeicherten Informationen gewonnen werden können. Es handelt sich nach diesem Modellierungsverständnis bei einem photogrammetrischen Bildverband um eine Informationsbasis, die nicht in Form einer fest definierten Schnittstelle zur Auswertung übergeben wird, sondern aus der mit den verschiedenen Auswertemethoden neue Möglichkeiten einer Informationsgewinnung eröffnet werden. Dabei ist schon das orientierte photogrammetrische Modell als Informationssystem anzusehen, mit dem verschiedene Aspekte einschließlich ihrer Wechselwirkungen untersucht werden können (vgl. Abb. 4.26). Aus dem photogrammetrischen Datenmaterial können die Informationen für den entsprechenden Zweck in der notwendigen Auflösung und Genauigkeit gewonnen werden, sodass flexibel auf die verschiedenen Anforderungen im Entscheidungsprozess reagiert werden kann. Damit stellt die Photogrammetrie das ideale Werkzeug für die Planung von Maßnahmen an großen Bauwerken oder ganzen Bauwerksensembles dar. Gleichwohl kann für die Durchführung der Maßnahmen eine umfangreiche, methodenkombinierende Bauaufnahme ergänzend notwendig sein.

Realisierung photogrammetrischer Objektmodelle – vom Bild zum photogrammetrischen 3D-Modell

Das Bereitstellen photogrammetrischer Bilddaten für eine zukünftige Auswertung kann in unterschiedlichen Konzepten erfolgen – vom analogen Bildarchiv bis zum dreidimensionalen Datenmodell.

Im einfachsten Fall werden die photogrammetrischen Bilddaten mit den Informationen über die innere Orientierung der verwendeten Kameras und die Passinformationen am Objekt archiviert. Dabei wird zum Zeitpunkt der Aufnahme keine weitere photogrammetrische Auswertung vorgenommen, mit minimalem

Aufwand kann die Informationsbasis für eine spätere photogrammetrische Bearbeitung von Fragestellungen geschaffen werden.

Dieses Vorgehen ist mit Nachteilen verbunden, die den Nutzen unter Umständen stark einschränken können.

Bevor die photogrammetrischen Bilddaten für die eigentliche inhaltliche Auswertung eingesetzt werden können, muss über die Berechnung von innerer und äußerer Orientierung die Grundlage für eine geometrische Auswertbarkeit hergestellt werden. Dieser Arbeitsschritt nimmt erfahrungsgemäß nicht nur einen hohen Zeitbedarf ein, sondern ist auch nicht selten mit unerwarteten Schwierigkeiten verbunden. Aus dem photogrammetrischen Bildmaterial ein unter hohen geometrischen Ansprüchen auswertbaren Bildverband herzustellen, ist die wesentliche Aufgabe, die von einem Photogrammeter möglichst im Anschluss an die photogrammetrische Dokumentation erfolgen sollte. Dabei sollten Aufnahmen und photogrammetrische Orientierung von derselben Person ausgeführt werden, da dadurch auch über die Aufnahmedokumentation hinausgehende Informationen für die Fehlersuche im Orientierungsprozess genutzt werden können. Liegen orientierte Bilddaten vor, können diese in jedes Auswerteprogramm importiert und vom Fachanwender bezogen auf seine Fragestellung ausgewertet werden. Das photogrammetrische Bildmaterial kann sofort für eine inhaltliche Auswertung genutzt werden, eine wesentliche Hemmschwelle für den Einsatz der Photogrammetrie ist abgebaut.

Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Archivierung der photogrammetrischen Daten, die sicherstellen muss, dass die eigentlichen Bilddaten untrennbar mit den sonstigen Informationen über die Aufnahmeanordnung, Kameraparameter oder Pass- und Verknüpfungspunkte verbunden sind. Wie schwierig diese Aufgabe über lange Zeiträume zu erfüllen ist, kann an dem Archiv der Preußischen Meßbildanstalt beobachtet werden. Dort sind zwar noch eine große Anzahl von Bildplatten erhalten, aber keine Informationen mehr über die innere Orientierung der verwendeten Kameras oder über die eventuell vorhandenen Passpunkte oder äußeren Orientierungen, sodass diese unter großem Aufwand aus dem Bildmaterial rekonstruiert werden müssen [LI, 1997]. Die bei analogen Bilddaten nicht zu vermeidende Trennung zwischen Bilddaten und den textbasierten Informationen über die innere und äußere Orientierung kann bei Verwenden von digitalen Bildern vermieden werden. Hier kann in dem eigentlichen Bilddatenfile ein einleitender Datenblock vorgesehen werden, der Informationen über die Kameras, Passpunkte, bereits ausgeführten Orientierungen oder andere Angaben über den Bildverband enthält. Für eine möglichst breite Nutzung der mit diesen Informationen aufbereiteten Bilddaten sollten keine individuellen, projektbezogenen Datenformate verwendet werden, sondern vielmehr standardisierte, weit verbreitete Bildformate. Für das TIFF-Datenformat ist mit dem um Informationsblöcke versehenem GeoTIFF [GEOTIFF, 2001] bereits ein standardisiertes Produkt entstanden, das den Raumbezug der Bilddaten zu einem Koordinatensystem ermöglicht. Eine Integration von photogrammetrischen Daten in die Informationsblöcke des GeoTIFF-Formates ist augenblicklich nicht realisiert, wäre aber technisch leicht möglich und im Sinne einer Standardisierung wünschenswert [KRESSE, 2000].

Eine komfortable Handhabung der photogrammetrischen Bilddaten kann durch projektbezogene Bilddatenbanken erreicht werden, die in eine CAD-Umgebung eingebettet sind. In der Datenbank wird die Verknüpfung der Bilddaten mit den weiteren Informationen wie beispielsweise Passpunkten oder Orientierungsdaten realisiert. Über die Schnittstelle zu einem CAD-System können die Bilder im dreidimensionalen Modell visualisiert werden, sodass die entsprechenden Bilder für den jeweiligen Objektbereich visuell durch den Anwender besonders einfach ausgewählt werden können [vgl. LICHTENBERG, POMASKA, 1998].

Umfassende Bildmanagementsysteme, die in eine CAD-Umgebung integriert sind, werden zur Dokumentation von großen Industrieanlagen eingesetzt. In derartig komplexen Anlagen müssen häufig Reparaturen oder Veränderungen vorgenommen werden, die eine schnelle Verfügbarkeit von Geometriedaten der betreffenden Anlagenbereiche erfordern. Ähnlich den großen Bauwerken wäre eine komplette Modellierung des Bestandes in einem CAD-System mit sehr hohem Aufwand verbunden, der aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu leisten ist und deshalb durch eine umfassende photogrammetrische Dokumentation ersetzt wird. Das photogrammetrische Bildmaterial kann bei Bedarf punktuell ausgewertet werden und damit die notwendigen Planungsdaten für Umbaumaßnahmen liefern. Um die Bildorientierungen möglichst einfach gewinnen zu können, wird ein digitaler Phototheodolit eingesetzt,

bei dem die äußeren Orientierungen der Kamera direkt abgegriffen werden können und gleichzeitig die Passpunkte zu bestimmen sind [vgl. CHAPMAN, DEACON, 1997; CHAPMAN et al., 1999].

Für die Architekturphotogrammetrie stellt das von A. Streilein entwickelte und im Programmsystem DIPAD realisierte Auswertekonzept eine vergleichbare Interaktion zwischen CAD-System und photogrammetrischen Bilddaten bereit[12]. Ist mit diesem System eine erste Grobauswertung vorgenommen worden, steht ein orientierter Bildverband zur Verfügung, der jederzeit eingesetzt werden kann, um für Teilbereiche eine Auswertung höherer Detailtiefe durchzuführen. In gleicher Weise können die dreidimensionalen CAD-Modelle Verwendung finden, bei denen eine Kombination aus dem 3D-CAD-Modell mit entzerrten Bilddaten vorgenommen worden ist[13]. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass für die Elemente, die nicht im 3D-Modell vorhanden sind und die nur über die Position des entzerrten Bildes im 3D-Modell erfasst werden können, ausschließlich genäherte Positionen abgeleitet werden können.

Sollen mit den bis hierher vorgestellten photogrammetrischen Bildarchiven dreidimensionale Auswertungen vorgenommen werden, ist entweder auf das orientierte Originalbild zurückzugreifen oder es ist in der Kombination von CAD und entzerrter Darstellung nur eine geringe Genauigkeit zu erzielen. Ein dreidimensionales Modell, das die bildhafte Information in voller Dreidimensionalität und mit der hohen Auflösung der photogrammetrischen Bilddaten unmittelbar bereitstellt, ist dadurch nicht gegeben. Diese kann erst ermöglicht werden, sofern das dreidimensionale Oberflächenmodell und die Bilddaten in gleicher (hoher) Auflösung vorliegen und somit jedes Bildpixel mit seinen dreidimensionalen Punktkoordinaten im Raum angegeben werden kann. Entsprechende Methoden sind im Kapitel 'Differentielle Entzerrung' vorgestellt worden, wobei die Kombination aus hochauflösenden Laserscannerdaten mit photogrammetrischen Bildmaterial das größte Anwendungspotenzial verspricht.

Obwohl die Kombination aus Laserscannerdaten und photogrammetrischen Bildern bisher erst für die hochgenaue Entzerrung eingesetzt worden ist, stellt dieses Verfahren einen wichtigen Schritt hin zu einem wirklichen dreidimensionalen Objektmodell dar. Alle bisher eingesetzten photogrammetrischen Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass entweder durch eine entzerrte Darstellung die Dreidimensionalität verloren geht oder durch die inhaltliche, wertende Auswertung eine hohe Reduktion der Informationsdichte zu akzeptieren ist. Werden dreidimensionale CAD-Modelle erstellt, geschieht das überwiegend durch geometrische Regelkörper, die im Nachhinein mit der bildhaften Information belegt werden. Bei den CAD-Modellen muss es sich dabei um Volumenmodelle handeln, die entweder bei der so genannten Boundary Representation (B-Rep) Methode aus den Objektoberflächen gebildet werden oder sich nach dem Konzept der Constructive Solid Geometry (CSG) durch die Kombination von Primitivkörpern zusammensetzen lassen[14].

Voxel als photogrammetrisches Datenmodell

Als einfachste CSG-Modelle können die Zellmodelle aufgefasst werden, bei denen Körper gleicher Größe solange gruppiert werden, bis das Objekt in der gewünschten Auflösung zu repräsentieren ist. Damit wird eine Modellstruktur aufgebaut, die als kleinste Einheit die so genannten Voxel aufweist, das Volumenelement, das als dreidimensionale Entsprechung der Bildpixel angesehen werden kann. Das Voxeldatenmodell weist mehrere Eigenschaften auf, die für die Modellierung großer Bauwerke nützlich sein könnten.

Zum einen lässt sich die Integration der Geometriedaten aus verschiedenen Erfassungsquellen sehr effektiv und ohne Redundanz vornehmen. Jeder Datenpunkt, sei er aus Laserscannerdaten oder aus automatischem Image-Matching gewonnen, muss auf seine Zugehörigkeit zu einem Voxel getestet werden, um festzustellen, ob redundante Daten vorliegen und diese dann durch Mittelung oder Löschung bereinigt werden können. Aus diesem Grund wird das Voxelkonzept auch eingesetzt, um im Vorfeld einer Dreiecksvermaschung redundante Punkte zu eliminieren und Datenlücken zu schließen [vgl. BOOCHS, HEINZ, 1996; EL-HAKIM et al., 1998].

[12] vgl. Kap. 5.3.4.2, 'Mehrbildauswertung und CAD'

[13] vgl. Kap. 4.3.3, '3D-Visualisierungen und Animationen'

[14] vgl. hierzu z.B. [GRÄTZ, 1989]

Gleichsam flexibel erweist sich das Voxelmodell, soll ausgehend von einem ersten Objektmodell geringer Auflösung eine sukzessive Verdichtung vorgenommen werden. Prinzipiell ist es ausreichend, den gesamten Objektbereich mit Voxeln auszufüllen, um die Modellierung anschließend für die Bereiche zu verfeinern, in denen weiteres Datenmaterial vorliegt. Nach diesem Konzept arbeitet das so genannte 'Bildhauerprinzip', bei dem alle die Voxel aus dem Modell gelöscht werden, die nicht zur Objektoberfläche gehören [FROMHERZ, BICHSEL, 1995]. Die zu löschenden Voxel werden durch eine Kombination aus Image-Matching mit Ray-Tracing Verfahren bestimmt, können aber prinzipiell auch durch Laserscanning ermittelt werden.

Damit die Voxelmodellierung in ihrer Datenmenge zu handhaben bleibt, wird für die Datenspeicherung die so genannte Octree-Codierung eingesetzt [LI, 1992]. Bei dieser baumartigen Codierung werden alle benachbarten Voxel zusammengefasst, die über identische Eigenschaften verfügen. Für Bauwerke sind in den meisten Fällen nur drei Arten von Voxel anzutreffen: die nicht zum Objekt gehören und gelöscht werden, die auf der Objektoberfläche liegen sowie jene, die sich im Innern von Wänden oder noch nicht bearbeiteten Räumen befinden. Die Voxel auf der Oberfläche sind sowohl dem Innen wie dem Außen zuzuordnen, sodass diese Voxel soweit in ihrer Größe verringert werden müssen, bis über einen festzulegenden Grenzwert entschieden werden kann, ob das Voxel gelöscht wird oder es das Innen als Grenz-Voxel abschließt[15]. Auf diese hochauflösenden Grenz-Voxel können abschließend die eventuell vorhandenen Bilddaten mit hoher Genauigkeit transformiert werden, sodass ein Modell entsteht, in dem die hohe Auflösung der bildhaften Darstellung mit einer entsprechend auflösenden Geometriemodellierung verbunden wird.

Dieses dreidimensionale CAD-Modell ist charakterisiert durch

- eine den gesamten Objektbereich umfassend Dreidimensionalität,
- eine hohe geometrische und radiometrische Auflösung der bearbeiteten Teilbereiche,
- eine hohe Flexibilität, da Objektbereiche unabhängig voneinander mit unterschiedlichen Messverfahren erfasst werden können,
- eine gute Übersichtlichkeit, da alle Veränderungen sofort im 3D-Modell zu visualisieren sind.

Mit diesen Eigenschaften kann ein voxelbasiertes Bauwerksmodell ein Arbeits- und Präsentationsmedium für die Bauaufnahme darstellen. Konventionelle 3D-CAD-Modelle werden gewöhnlich durch eine interpretierende Auswertung der Liniengeometrie hergestellt, die erst zu Flächen und dann zu dreidimensionalen Volumenkörpern gruppiert werden. Zum Aufbau des Voxelmodells hat keine Interpretation stattgefunden, das 3D-Modell ist in Abhängigkeit der Voxelgröße in der Lage, eine nicht idealisierte – gleichsam verformungsgerechte – Oberflächenmodellierung bereitzustellen. Die hohe Auflösung der photogrammetrischen Bildpixel findet damit ihre Entsprechung in der Auflösung der Voxel des 3D-Modells. Das Voxelmodell kann folglich für eine weitergehende inhaltliche Auswertung genutzt werden, die nicht nur einfach in diesem 3D-Modell auszuführen ist, sondern auch in gewissem Maße automatisiert werden kann. So sind die für ein konventionelle Bauaufnahme anzufertigen Schnitte in diesem Modell in voller Dreidimensionalität automatisch herzustellen, gleichzeitig ist durch die Dreidimensionalität eine größere Übersichtlichkeit für in der Tiefe stark gestaffelte Objektbereiche zu erzielen[16]. Die Voxelstruktur erlaubt ebenfalls eine Modellierung von Objekten oder anderen Bauwerksinformationen, die sich nicht nur auf der Objektoberfläche, sondern z.B. auch innerhalb von Mauern befinden können. So besteht die Möglichkeit, besondere konstruktive Elemente in das Modell aufzunehmen, vom einfachen Schornstein bis zum Zuganker. Wie bei jedem 3D-Modell sind die vielfältigen Möglichkeiten der Präsentation und auch der Verknüpfung mit weiteren externen Daten zu nutzen[17].

---

[15] Nach S. El Hakim sind nur 1-6% der Voxel mit Informationen belegt [EL HAKIM et al., 1998].

[16] Dass es nicht immer einfach ist, aus zweidimensionalen Schnittplänen auf den ersten Blick die verschieden gestaffelten Objektbereiche zu erkennen, mag die Abbildung 4.14 verdeutlichen.

[17] vgl. Kap. 4.3.3, '3D-Visualisierungen und Animationen'

Nicht zu unterschätzen sind aber die Schwierigkeiten, die mit dem Aufbau eines hochauflösenden Voxelmodells verbunden sind. Auch wenn die hohe Auflösung nur für die Oberfläche realisiert werden muss, entstehen dennoch sehr viel größere Dateien als dies z.B. bei der Kombination von Bilddaten mit CAD-Modellen geringer geometrischer Auflösung der Fall ist. Die Kombination der Voxelgeometrie mit den hochauflösenden Bilddaten erfordert aufwändige Algorithmen, um die Grauwertinformation des Bildpixels dem entsprechenden Voxel zuordnen zu können [vgl. El Hakim et al., 1998]. Insgesamt ist zu verifizieren, ob die Kombination einer anschaulichen, dreidimensionalen Visualisierung mit der hochgenauen, dreidimensionalen Auswertbarkeit den Aufwand zur Erstellung eines Voxelmodells rechtfertigt oder ob eine Trennung zwischen niedrigauflösender Visualisierung und hochauflösendem photogrammetrischen Datenmaterial aufrechterhalten werden sollte. Sicher ist eine Voxelmodellierung nur bei sehr kleinen oder sehr großen Objekten zu vertreten. Bei kleinen Objekten wie beispielsweise Skulpturen ist ein Voxelmodell einfach und vollautomatisiert aufzubauen [vgl. Fromherz, Bichsel, 1995], bei großen lohnt sich der Aufwand. Über das tatsächlich zu leistende Potenzial der Voxelmodelle für die Repräsentation von Bauwerken kann aber letztendlich nur ein noch durchzuführendes Pilotprojekt Aufschluss geben.

6.4 Ergänzende Aspekte einer umfassenden Bauaufnahmestrategie

Nicht nur bei größeren Objekten sind für eine Entscheidung über die einzusetzenden Bauaufnahmemethoden Aspekte zu berücksichtigen, die sich nicht direkt auf die zweckbezogene geometrische und inhaltliche Modellierung auswirken, aber für den Nutzen und die Relevanz der Bauaufnahme insgesamt eine nicht zu unterschätzende Bedeutung gewinnen können.

In den vorausgegangenen Abschnitten ist die Interdisziplinarität der Bauaufnahme überwiegend in ihrer Bedeutung für die Geometriemodellierung bewertet worden. Für den gesamten Arbeitsablauf einer Bauwerksuntersuchung sind über die geometrische Bauaufnahme hinaus ergänzende Untersuchungs- und Dokumentationsmethoden zur Objektmodellierung einzusetzen. Es besteht gleichsam eine Verpflichtung alle Methoden zu verwenden, die eine Verbreiterung der Informationsbasis über das zu untersuchende Objekt ermöglichen und damit auch die durch eine ziel- und zweckbedingte Modellierung verursachte Einschränkung des Modellinhaltes kompensieren können. Dabei sollten sowohl die neuesten technischen Möglichkeiten wie auch die einfachsten traditionellen Methoden entsprechend ihrer Eignung für den Untersuchungszweck angewendet werden.

Zu den einfachen, aber nicht minder wichtigen Methoden kann die im Vorfeld auszuführende archivarische Recherche über vorhandene Literaturquellen, Pläne oder Fotografien gerechnet werden. Mitunter lassen sich in den Archiven wichtige Informationen aufspüren, deren Gehalt aber kritisch bewertet werden muss, sind diese Quellen doch nur in Ausnahmefällen zum Zweck einer wertneutralen Dokumentation angefertigt worden[18]. Diese Informationsquellen werden in den Anwendungen der Bauforschung oder Denkmalpflege nahezu immer in die wissenschaftliche Auswertung einbezogen, doch für ein Sanierungsvorhaben oder andere einfache Bauaufnahmeaufgaben wird dieses Potenzial nur selten genutzt. Dabei können gerade für Sanierungsmaßnahmen die Schriftquellen wichtige Hinweise z.B. über ältere Bauschäden oder konstruktive Besonderheiten vermitteln[19]. Mitunter kann eine erneute Geometriemodellierung vollständig vermieden werden, wenn bestehendes Planmaterial für die durchzuführende Bauwerksuntersuchung kritisch verwendet werden kann. Die historischen Pläne werden entweder gescannt oder in Ausschnitten durch Digitalisierung in das CAD-System übertragen. Eine örtliche Kontrolle im Rahmen eines Feldvergleiches ist unbedingt vorzunehmen, um grobe Fehler, Lücken oder Ergänzungen feststellen und berichtigen zu können[20]. Durch die Integration vorhandenen Planmaterials

---

[18] Historische Abbildung können verfälschte Darstellungen aufweisen, die aus didaktischen Überlegungen, dem Formempfinden der Entstehungszeit, einer gewünschten repräsentativen Wirkung der Abbildung, ästhetischen und künstlerischen Überlegungen oder durch die Übernahme von Fehlern aus älteren Abbildungen hervorgerufen werden können.

[19] Ein exemplarisches Beispiel für diese Art der Ursachenforschung gibt S. Szaktilla für einen Kirchturm aus dem 16. Jh., bei dem anhand des damaligen Schriftverkehrs in Kombination mit der heutigen Schadensanalyse nachgewiesen werden konnte, dass die zu beobachtenden Schadensbilder bereits beim Bau entstanden waren [Szaktilla, 2001].

[20] Auf die Möglichkeit der Anpassung unmaßstäblicher oder verzerrter gescannter Pläne an die tatsächliche Bauwerksgeometrie ist in Kap. 5.1.1, 'Architektenaufmaß' eingegangen worden.

können die örtlichen Aufmaßarbeiten reduziert werden, wobei gegenüber einer vollständigen Neuvermessung mit einer geringeren Genauigkeit und Zuverlässigkeit gerechnet werden muss.

Zur Untersuchung der Bauausstattung, des Bauzustandes oder seiner Funktion wird sich nicht nur in der Denkmalpflege oder Bauforschung, sondern auch für die Datenerhebung in Facility Management Systemen auf das Arbeitsmittel 'Raumbuch' zurückgegriffen. Dies kann in einfachster Form auf Grundlage der Bestandspläne oder unter Verwendung von Datenbanken bzw. GIS-Systemen auch technisch aufwändig angelegt werden[21].

Nach der eigentlichen Bauaufnahme sind eventuell vertiefende Untersuchungen auszuführen, die sich der bauarchäologischen Methoden bedienen oder bei denen spezielle Materialuntersuchungen zur Alters- und Zustandsbestimmung ausgeführt werden. Über geophysikalische Untersuchungen können großflächige Informationen über unter der Bauwerks- oder Erdoberfläche liegende Objekte gewonnen werden. Die modernen Bildverarbeitungs- und Klassifizierungsmethoden sind einzusetzen, um für das menschliche Auge nicht sichtbare Informationen erfassen und auswerten zu können[22].

Je nach Untersuchungsgegenstand und Fragestellung lassen sich weitere Methoden einsetzen, deren Anwendung wie die angeführten Beispiele spezifische Kenntnisse erfordert und vielfach nur durch den entsprechenden Experten geleistet werden kann. Dabei erschließen die neuen technischen Möglichkeiten nicht nur zusätzliche inhaltliche Informationen über das Bauaufnahmeobjekt. Mit einem verstärkten Technikeinsatz geht eine Rationalisierung einher, die zusätzliche Investitionen und spezielles Know-how bedingt und damit letztendlich zu einer größeren Arbeitsteilung führt, in der Einzelaspekte von Spezialisten hoher Qualifikation bearbeitet werden. Jedes der an der Bauwerksuntersuchung beteiligten Fachgebiete hat eine eigene Fachsprache entwickelt, in der die Ergebnisse für eine weitere Nutzung präsentiert werden. Das Zusammenführen aller Methoden und Daten der verschiedenen Disziplinen in einem Informationssystem ist besonders für die Denkmalpflege anzustreben, bei der es neben der Bewahrung der Baudenkmale auch um eine Entwicklung in ihrem Umfeld und Kontext geht [LAGERQVIST, 1996]. Nicht immer erweist sich die Integration der einzelnen Fachmodelle zu einem Gesamtmodell als einfache Aufgabe, wenn die Ergebnisse nicht in einem einheitlichen Datenformat zusammengefasst werden können. Ein typisches Beispiel ist die geringe Berücksichtigung von unter denkmalpflegerischen Ansprüchen ausgeführten Bauaufnahmen in der weiteren Sanierung- oder Umnutzungsplanung [WOHLLEBEN, 1993]. Der in Tusche gezeichnete, 'schöne' Bauaufnahmeplan wird nicht selten nach seiner Fertigstellung sorgsam im Planschrank verwahrt, für die weitere Planung wird – wenn überhaupt – nur eine durch Digitalisierung gewonnene, sehr vereinfacht schematisierte Form in das CAD-System als Entwurfsgrundlage übernommen[23].

Um dies zu verhindern, muss zu Projektbeginn ein allgemein gültiges Datenmodell definiert werden, in das jede Fachdisziplin ihre Ergebnisse integriert und auf das jederzeit zurückgegriffen werden kann. Da sich alle Untersuchungen auf räumliche Strukturen beziehen, muss die Bauaufnahme als grundlegende Ersterfassung die geometrische Basis für alle weiteren Detailuntersuchungen bereitstellen. Inwieweit die Bauaufnahme diese Funktion erfüllen kann, hängt wesentlich davon ab, in welcher Form das Ergebnis bereitgestellt wird. Das Datenmodell der Bauaufnahme muss so strukturiert sein, dass eine Integration aller weiteren Bauwerksuntersuchungen leicht möglich ist. Diese Integration muss nicht für alle Daten der einzelnen Fachmodelle vorgenommen werden. Vielmehr kommt es darauf an, die wesentlichen Fachinformationen in das übergeordnete Projektdatenmodell zu übernehmen, um auf der Grundlage der Ergebnisse der einzelnen Fachdisziplinen eine umfassende Bauwerksanalyse durchführen zu können[24]. Vor dem Hintergrund des übergeordneten Projektzieles ist eine Auswahl der im Kapitel 'Datenstrukturierung und -darstellung' eingeführten Methoden zur Erstellung und Präsentation von Datenmodellen

[21] vgl. Kap. 3.4, 'Anwendung in der Denkmalpflege'

[22] vgl. Kap. 5.3.5, 'Automatische photogrammetrische Verfahren'

[23] Somit sollte jede manuell gezeichnete Bauaufnahme gleich als gescannte Datei in das CAD-System eingefügt werden, damit auf den Bauwerksbestand jeder Zeit einfach und schnell zurückgegriffen werden kann.

[24] Die einzelnen Fachmodelle sind mittlerweile nicht selten so spezialisiert, dass die Details nur noch von Experten bearbeitet werden sollten und für alle weiteren Arbeiten das Surrogat in ein übergeordnetes Projektmodell einzubringen ist. Die dabei entstehende Schnittstelle zwischen Fachmodell und Projektmodell muss die notwendigen Informationen transportieren, ohne Überflüssiges in das Projektmodell zu übernehmen. Soweit möglich ist eine automatische Aktualisierung vorzunehmen, damit Fachmodelle und Projektmodell immer im aktuellsten Stand gehalten werden können.

vorzunehmen. Bei dieser Entscheidung sollte über das Primärziel der Bauaufnahme hinausgeblickt und ein Datenmodell gewählt werden, das flexibel genug ist, um auch noch nicht abzusehende Informationen integrieren zu können. Im Sinne einer an Hypothesen ausgerichteten Projektphilosophie (vgl. Abb. 4.26) muss das Datenmodell der Bauaufnahme so strukturiert sein, dass durch neue Erkenntnisse verursachte Veränderungen leicht vorzunehmen sind. Bei heutigem Stand der Technik wird es sich dabei überwiegend um CAD-Modelle handeln, die sich weiterentwickelnden Möglichkeiten von GIS-Systemen und datenbankbasierter 3D-VRML Modelle werden hierfür in der Zukunft verstärkt genutzt werden können. Insbesondere für das Management von großen Baudenkmalen oder ganzen Gebäudeensembles sollten die Analyse- und Präsentationsmöglichkeiten von GIS-Systemen stärker verwendet werden, um die vielfältigen Einzelaspekte strukturieren und für den Entscheidungsprozess nutzen zu können.

Doch nicht immer wird über die Art und den Umfang von Bauaufnahmen aus inhaltlichen Überlegungen entschieden. Zunehmend beeinflussen wirtschaftliche Notwendigkeiten die Entscheidungsfindung, was nicht selten dazuführt, dass ein möglichst kostengünstiges Architektenaufmaß geringer Qualität als ausreichende Grundlage für weitergehende Maßnahmen angesehen wird. Nicht selten werden völlig fachfremde Personen mit Zollstock und Skizzenpapier ausgestattet, um die scheinbar einfache Aufgabe eines Bauaufmaßes zu bearbeiten.

Vor diesem Hintergrund scheint die häufig geführte Auseinandersetzung, ob das verformungsgerechte Handaufmaß oder aber eine tachymetrische bzw. photogrammetrische Bauaufnahme wirtschaftlicher auszuführen sei, keine hohe Relevanz zu besitzen. Die in diesem Zusammenhang zu findenden konkreten Aussagen oder Vergleiche über die Kosten der Bauaufnahme [z.B. Dzierzon, 1990; Heiliger, 2000; Mader, 2001; Magerl, 1982; Streilein, 1998] sind schwer einzuordnen, weil hierbei zwar die Kosten für das Bauaufnahmeverfahren beziffert werden, aber nicht der Wert einer qualitätsvollen Bauaufnahme für den Untersuchungszweck berücksichtigt wird. Ohnehin kann die im Kapitel 'Eine methodenintegrierende, interdisziplinäre Bauaufnahmestrategie' festgestellte hohe Effektivität nicht nur für die geometrische und inhaltliche Erfassung gelten, sondern darf ihre Gültigkeit auch unter finanziellen Gesichtspunkten beanspruchen[25]. So geht es einerseits vielmehr darum, potenziellen Auftraggebern durch Überzeugungsarbeit den Wert einer hochwertigen Bauaufnahme als Planungsgrundlage für alle durchzuführenden Maßnahmen zu vermitteln. Andererseits hängt die Akzeptanz der Bauaufnahme als unverzichtbare Grundlage für Forschungs- und Planungsaufgaben an historischen Bauwerken wesentlich davon ab, inwieweit die Bauaufnahme die Funktion einer flexiblen Datenbasis erfüllen kann. Insbesondere bei großen Sanierungsprojekten lassen sich die Anforderungen einer auf Wirtschaftlichkeit ausgerichteten Bestandserfassung mit den Notwendigkeiten einer denkmalpflegerischen Bewertung oder historischen Forschung verbinden, wenn eine methodenkombinierende, interdisziplinäre Bauaufnahme durchgeführt wird und dabei ein Datenmodell aufgebaut wird, das unter den verschiedenen Ansprüchen verwendet werden kann[26].

Je vielfältiger das Bauwerksmodell zu nutzen ist, desto leichter kann auch eine umfangreiche Bauaufnahme höchster Qualität durchgesetzt werden. Nur so lässt sich verhindern, dass eine kostengünstige Bauaufnahme zwar mit modernen Vermessungsmethoden, aber ohne das notwendige fachspezifische Detailwissen ausgeführt wird und im Ergebnis ein Architektenaufmaß entsteht, das wenig mehr als die Raumfolge in idealisierter Geometrie enthält.

Die Integration moderner Erfassung- und Präsentationsmethoden in den Bauaufnahmeprozess muss überdies vor dem Hintergrund der sich ständig weiterentwickelnden Möglichkeiten der Informationsverarbeitung und der damit verbundenen Auswirkungen auf den Umgang mit diesen Informationen durch die Gesellschaft gesehen werden. Auch wenn z.B. die Präsentation über das Internet für Projekte im

---

[25] Als Beleg kann das von den Lehrstühlen für Baugeschichte und Vermessungskunde angefertigte Planmaterial der so genannten Domus Severiana auf dem Palatin in Rom angesehen werden. Von dieser in der Grundfläche 110 x 120 m² großen und bis zu 35 m hohen Anlage wurden in vier fünfwöchigen Bauaufnahmekampagnen ein umfassendes Planwerk von Grundrissplänen der fünf Bauwerksebenen, Ansichten und durch den gesamten Baukörper verlaufenden Längs- und Querschnitten überwiegend in den Arbeitsmaßstäben 1:100, z.T. in 1:50 angefertigt.

[26] Demnach muss auch eine verformungsgerechte Bauaufnahme in gängigen CAD-Datenformaten vorliegen, damit das Bauaufnahmeergebnis unmittelbar für eine weitergehende Sanierungsplanung zu verwenden ist. Auch sind unkonventionelle Projektansätze denkbar, indem z.B. die augenblicklich von Mobilfunkunternehmen aufgebauten dreidimensionalen Stadtmodelle ebenso für die Denkmalpflege genutzt werden.

Bereich der Bauaufnahme eher selten anzutreffen ist[27], zeichnet sich doch ein anderer Umgang mit Informationen einschließlich der vielfältigen Präsentationsmöglichkeiten ab. Informationen sind heutzutage überall und zu jeder Zeit verfügbar, das Internet konfrontiert den Nutzer überdies mit virtuellen Welten, in denen gebaute Umwelt mal besser, mal schlechter repräsentiert wird. Der moderne Mensch wächst mit den neuen Formen der Informationsverarbeitung und -darstellung auf, dabei lernt er nicht nur mit diesen Medien zu arbeiten, gleichzeitig kann auch davon ausgegangen werden, dass sich sowohl die Sehgewohnheiten wie der Umgang mit Informationen insgesamt verändern werden. Der Einsatz der computergestützten Methoden ist zum einen aus fachlichen Gesichtspunkten zu erwägen, um die für den Modellierungszweck vorhandenen Potenziale zielgerichtet integrieren zu können. Gleichzeitig wird das Verwenden modernster Techniken – besonders zur Visualisierung von Bauaufnahmeergebnissen – heutzutage wie selbstverständlich erwartet. Es sind immer die neuesten Entwicklungen, vor denen sich die Bauaufnahme behaupten muss. Wird dies unterlassen, werden die modernsten Methoden ohne die für die Bauaufnahme notwendige Fachkenntnis angewendet. Das Ergebnis unterscheidet sich für den konventionellen Betrachter nur unwesentlich von der hochwertigen Bauaufnahme. So kommt es darauf an, die Möglichkeiten modernster Technik in die Bauaufnahme zu integrieren, sich das Potenzial zunutze zu machen, um in einer methodenkombinierenden interdisziplinären Bauaufnahmestrategie möglichst viel über ein bestehendes Bauwerk zu erforschen. Wesentliches Ziel ist es, die Fachkompetenz bezogen auf das Modellierungsziel sicherzustellen, damit die heutigen Möglichkeiten der Technik nicht von fachfremden Arbeitsgruppen in einem isolierten Vorgehen für eine preisgünstige, aber unqualifizierte Bauaufnahme eingesetzt werden.

Diese Integration wird auch deshalb immer einfacher, weil z.B. in der Architektenausbildung das Arbeiten mit CAD-Systemen mittlerweile tägliches Handwerkszeug ist und auf dieser Grundlage das Werkzeug CAD für die Anwendung in der Bauaufnahme optimal genutzt werden kann und auch genutzt werden muss. Nur so kann verhindert werden, dass sich der Anspruch an die Bauaufnahme und die Realität der täglichen Praxis immer weiter voneinander entfernen.

[27] Ein Beispiel ist die Präsentation der archäologischen Ausgrabung von Catal Höyük [CATAL HÖYÜK, 2001].

7 Zusammenfassung

Die Bauaufnahme kann in ihren Methoden zur Erfassung, Modellierung und Darstellung von Bauwerken aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. Entsprechend der vielfältigen Bauaufnahmeobjekte – vom kleinsten Bauwerksdetail bis zu großen Siedlungsanlagen – und der umfangreichen Anwendungsgebiete – von der Bauforschung bis zum Facility Management – muss die Bauaufnahme den unterschiedlichsten Anforderungen gerecht werden. Auch wenn dabei nicht alle denkbaren Anforderungen berücksichtigt werden können und sollen, unterliegt die Bauaufnahme einer größeren Wechselwirkung zwischen der reinen geometrischen Objektmodellierung und den fachbezogenen Analysen als gewöhnlich angenommen. Gleichzeitig sind in den Ansprüchen der einzelnen Fachanwendungen an die Bauaufnahme neben den vorhandenen Gemeinsamkeiten ebenso viele Unterschiede festzustellen, die eine auf alle Gebiete anwendbare Bauaufnahmestrategie verhindern.

Die Vielfältigkeit der Bauaufnahmeobjekte wie der Anwendungsanforderungen erfordert eine bewusste Auseinandersetzung mit den an die Bauaufnahme gestellten Zielen unter Berücksichtigung der die Bauaufnahme begleitenden Randbedingungen.

Um diese verschiedenen Einflüsse auf die Bauaufnahme erkennen und innerhalb einer optimierten Bauaufnahmestrategie berücksichtigen zu können, ist die Bauaufnahme als allgemeiner Modellierungsvorgang definiert worden. Durch die Modellierung ist von einem vielschichtigen Original ein Modell zu erstellen, das eine auf den Bauaufnahmezweck ausgerichtete Qualität in der inhaltlichen Vollständigkeit wie in der geometrischen Richtigkeit gewährleisten soll.

Unter Bezug auf die 'Allgemeine Modelltheorie' ist die starke Abhängigkeit zwischen inhaltlicher und geometrischer Modellqualität aufgezeigt worden. Dabei wurde besonders deutlich, dass für ein hochwertiges Bauwerksmodell die höchste geometrische Genauigkeit alleine ebenso wenig ausreichend ist, wie eine qualifizierte fachbezogenen Bewertung, die keinen ausreichenden geometrischen Raumbezug aufweist. Erst in der gemeinsamen Integration beider Anforderungen entsteht ein optimales Modell des Bauwerksoriginals, das den an die Bauaufnahme gestellten Anforderungen gerecht wird.

Die vielfach von der Bauaufnahme verlangte umfassende und objektive Dokumentation, die im Ergebnis ein Primärmodell des Bauwerks bereitstellt, das unter jeder neuen Fragestellung untersucht werden kann, ist mit keiner Bauaufnahmemethode zu leisten.

Jede Bauaufnahme stellt einen analytischen Vorgang dar, bei dem in Abhängigkeit der beteiligten Personen und der formulierten Zielstellung ein individuelles Bauwerksmodell erstellt wird. Je genauer sich die Bauaufnahme ihres analytischen Charakters bewusst wird und damit die Ziele und Randbedingungen deutlich herausgearbeitet werden, desto besser wird das Ergebnis für den angestrebten Zweck ausfallen. Dieser Zweck kann auch eine – soweit möglich – umfassende und neutrale Dokumentation sein.

Durch die Kombination verschiedenster Aufnahmemethoden lässt sich eine Objektivierung und Verbreiterung der Informationsbasis der Bauaufnahme erreichen. Die Integration der methodenspezifischen Stärken und der fachbezogenen Kompetenz zu einem umfassenden Modellierungswerkzeug erschließt die zur Verfügung stehenden Potenziale an Fachwissen und technischen Modellierungsmöglichkeiten. Dabei gehören insbesondere die geodätischen und photogrammetrischen Methoden mit ihrem hohen Leistungspotenzial in der geometrischen Modellierung zu den Basisverfahren der Bauaufnahme. Ein gutes Geometriemodell stellt die wesentliche Grundlage für die Bauaufnahme dar, auf der eine objektive und genaue inhaltliche Modellierung vollzogen werden kann. Für die photogrammetrischen Verfahren gilt, dass sie bedingt durch ihr hohes Dokumentationspotenzial einen wesentlichen Beitrag zur Objektivierung leisten können.

Umgekehrt kann daraus aber nicht die ausschließliche Eignung der geodätischen und photogrammetrischen Verfahren für eine möglichst vollständige und objektive Bauaufnahme abgeleitet werden. Erst in der Kombination mit dem fachbezogenen Wissen kann eine hochwertige Geometriemodellierung zweckbezogen eingesetzt werden.

Daraus ergibt sich eine unbedingte Verpflichtung zu einer interdisziplinären und methodenkombinierenden Bauaufnahmestrategie, bei der die Bauaufnahme in engster inhaltlicher und personeller

Zusammenarbeit zwischen den am Ergebnis interessierten Fachgruppen und den Spezialisten für die anzuwendenden Methoden ausgeführt wird. Die Bauaufnahme ist als gemeinsames Projekt aufzufassen, in dem von der Formulierung der Bauaufnahmeziele über die Ausführung am Bauaufnahmeobjekt bis zur Auswertung und Präsentation der Ergebnisse eine Interdisziplinarität während aller Phasen der Bauaufnahme realisiert wird. Nur in enger personeller Kooperation kann auf die Schwierigkeiten und wechselnden Anforderungen, die im Verlauf eines Bauaufnahmeprojektes sowohl bedingt durch die eingesetzten Bauaufnahmemethoden als auch durch die fachspezifischen Anforderungen auftreten, angemessen und bestmöglich reagiert werden.

Inwieweit kann aber eine interdisziplinäre, methodenkombinierende Bauaufnahmestrategie in der täglichen Bauaufnahmepraxis tatsächlich realisiert werden? Ist es nicht beispielsweise angesichts des enormen Zeitdrucks bei anstehenden Bauaufnahmeprojekten in der Denkmalpflege utopisch, eine grundlegende Auseinandersetzung über die Modellierungsziele zu führen, während der Bauherr lieber sofort mit den Maßnahmen beginnen möchte? In diesen Situationen gelingt es sicher nicht immer, den Wert einer umfassenden Dokumentation für den späteren Bauablauf zu verdeutlichen.

Oder wie kann es gelingen, den in seinen traditionellen Methoden geschulten Bauaufnehmer von der Leistungsfähigkeit moderner Methoden zu überzeugen, wo doch das angestrebte Ziel auch mit den altbekannten Verfahren zu erreichen ist? Noch dazu wo neue Methoden meist neue Investitionen in Geräte und Ausstattung erfordern.

Dabei darf überdies nicht vergessen werden, dass mit zunehmender Technisierung eine weitreichende Spezialisierung verbunden ist, die in der Regel nicht mehr von einer Person oder Arbeitsgruppe geleistet werden kann. Gerade für die überwiegend kleinen Firmen, die sich in der Bauaufnahme engagieren, wird es immer schwieriger, alle zur Verfügung stehenden modernen Methoden mit der hinreichenden Kompetenz ausführen zu können.

Auf der anderen Seite scheinen die technisch dominierten, modernen Verfahren eine schnelle und damit kostengünstige Bauaufnahme zu ermöglichen, die darüber hinaus Daten bereitstellt, die durch einen automatischen Datenfluss direkt in die weitere Planung einfließen können. Der Bauaufnahmeplan wird heutzutage nicht selten direkt auf der Baustelle in seiner endgültigen Form fertiggestellt und unverzüglich an das Planungsbüro per elektronischer Kommunikation übermittelt.

Bei diesem Vorgehen steht ohne Zweifel die schnelle und genaue Erfassung der offensichtlichen Bauwerksgeometrie als wichtigste Anforderung an die Bauaufnahme im Vordergrund. Dennoch lässt sich auch eine unter inhaltlichen Anforderungen eher wenig anspruchsvolle Bauaufnahme für weitergehende Analysen von historischen oder anderen Fragestellungen nutzen.

Nicht immer können die modernen, hochtechnisierten Bauaufnahmemethoden innerhalb einer umfassenden, interdisziplinären Bauaufnahmestrategie eingesetzt werden. Um beurteilen zu können, ob die Bauaufnahmemethoden unabhängig von der eigentlichen inhaltlichen Auswertung anzuwenden sind, muss die Frage beantwortet werden, inwieweit sich die geometrische Bauaufnahme von der inhaltlichen, analytischen Untersuchung des Bauwerks trennen lässt. Diese Separation zwischen geometrischer Erfassung und inhaltlicher Auswertung stellt ohne Zweifel die zweitbeste Lösungsmöglichkeit dar. Sie kann aber geleistet werden, wenn eine klare Definition der Schnittstellen zwischen Geometrieerfassung und weiterer Auswertung vorgenommen wird.

Diese Schnittstellen können grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten realisiert werden, wobei entweder ausschließlich die offensichtliche Bauwerksgeometrie zu erfassen ist oder ein geometrisches Bezugssystem bereitgestellt wird, in dem alle weiteren inhaltlichen Auswertungen vorgenommen werden können.

Wird die offensichtliche Bauwerksgeometrie im Verlauf einer ersten Bauaufnahmekampagne bestimmt, sollten die erfassten Objektstrukturen für alle weiteren Nutzer der Bauaufnahme klar am Bauwerk zu erkennen sein. Dies kann sowohl im Verlauf einer tachymetrischen Bauaufnahme durch eine direkte Markierung der erfassten Punkte am Objekt geschehen als auch bei Beteiligung von photogrammetrischen Bilddaten durch Einblenden der Bauwerksgeometrie in das Bildmaterial. Nur so ist sicherzu-

stellen, dass eindeutige Korrespondenzen zwischen dem Bauwerksmodell und dem Original für weitergehende Auswertungen herzustellen sind.

Die hierbei immer noch potenziell auftretenden Fehlerquellen in der Zuordnung zwischen geometrischer Auswertung und dem Original können vermieden werden, wenn sich die erste Bauaufnahme auf das Einrichten eines verdichteten geometrischen Bezugsrahmens beschränkt und keine eigene inhaltliche Auswertung durchführt. Dieser geometrische Bezugsrahmen kann aus einem dichten Punktnetz bestehen, das mit modernsten tachymetrischen oder photogrammetrischen Methoden automatisch und mit höchster Genauigkeit zu bestimmen ist. Auf dieses Bezugsnetz lassen sich alle weiteren inhaltlichen Auswertungen durch eine detaillierte Erfassung beispielsweise im Handaufmaß beziehen.
Ein quasi unsichtbares Bezugsnetz kann dem Fachanwender durch einen orientierten photogrammetrischen Bildverband bereitgestellt werden, in dem alle inhaltlichen Auswertung selbstständig ausgeführt werden können. Die modernen Auswertesysteme sind mittlerweile so einfach zu bedienen, dass diese Aufgabe auch von photogrammetrisch wenig gebildeten Nutzern auszuführen ist. Für diese Auswertestrategie ist eine personelle Konstanz in der Bearbeitung von Vorteil, indem die photogrammetrische Auswertung wie die weitere Bearbeitung von den selben Personen ausgeführt werden, die überdies das Objekt mit seinen spezifischen Besonderheiten genau kennen sollten.

Auch wenn ein abgestuftes Vorgehen während der Bauaufnahme mit ausreichender Qualität möglich ist und in vielen praktischen Anwendungen als sinnvolle Bauaufnahmevariante angewendet werden kann, kommt es doch für die Zukunft wesentlich darauf an, die Integration moderner technischer Verfahren in die Bauaufnahmemethodik insgesamt voranzubringen.

Diese Integration sollte zu leisten sein, wenn die Methodenwahl von den übergeordneten Zielen bestimmt wird, die an die Bauaufnahme gestellt werden. Für die Methodenauswahl ist zu vermeiden, dass die zufällig zur Verfügung stehenden Instrumente und die persönlichen Erfahrungen einen dominierenden Einfluss auf die Entscheidung ausüben und sich dadurch das Potenzial neuer Möglichkeiten der modernen, noch nicht etablierten Bauaufnahmemethoden verbaut wird.

Insbesondere sollte der Konflikt zwischen den so genannten traditionellen und modernen Bauaufnahmemethoden der Vergangenheit angehören, weil die methodischen Grundprinzipien unabhängig von der Technisierung der Methode anzuwenden sind.

Um die Integration der modernsten Bauaufnahmemethoden in die fachbezogenen Anwendung tatsächlich befördern zu können, ist eine enge Verbindung zwischen der modernen geodätischen bzw. photogrammetrischen Methodenforschung und der Anwendung in den Forschungsprojekten der Fachdisziplinen wie Archäologie, historische Bauforschung, Denkmalpflege etc. notwendig. Dabei ist die Integration der methodenorientierten mit der fachbezogenen Forschung innerhalb eines gemeinsamen Projektverständnisses der einzige Weg, um einerseits die Methoden den fachlichen Anforderungen anpassen und andererseits die Möglichkeiten der verschiedenen Bauaufnahmemethoden ausschöpfen zu können. Keinesfalls ist die exemplarische, isolierte Anwendung neuer Verfahren in den jeweiligen Anwendungsgebieten ausreichend, da hierbei keine Rückkopplung zwischen den fachlichen Anforderungen und den methodischen Möglichkeiten zu erzielen ist.

Weiterhin ist eine breite Nutzung der Bauaufnahmeergebnisse für die unterschiedlichen Anwendungen zu ermöglichen. Mittlerweile erfordert der Umgang mit Bauwerken in deren unterschiedlichsten Nutzungsphasen und in ihren verschiedenen fachlichen Zusammenhängen hochwertige Bauwerksmodelle. So kommt es auch darauf an, die Anforderungen, die an Bauwerksmodelle von der Bauforschung über das Facility Management bis zur Stadtplanung gestellt werden, soweit zu berücksichtigen, dass die Informationen eines umfassenden Bauwerksmodells vielfältig zu verwenden sind. Dabei kann es nicht darum gehen, für ein Stadtmodell die Anforderungen der historischen Bauforschung zu verlangen. Doch lassen sich beispielsweise in der Konzeption des Datenmodells gemeinsame Anforderungen berücksichtigen, die eine vielfältige Anwendung der Bauaufnahmemodelle gestatten.

Um die den Bauwerksmodellen innewohnenden Nutzungspotenziale auch über den Moment der ersten Erstellung ausschöpfen zu können, ist die Bauaufnahme als kontinuierlicher Prozess aufzufassen, der eine Fortführung und Verdichtung des Datenmaterials auf der bestehenden Grundlage ermöglicht. Hierin kann die Bauwerksgeometrie als Basis für eine Datenmanagement angesehen werden, bei dem die Kompetenz

von Geodäsie und Photogrammetrie zur geometrischen Bauwerkserfassung, -modellierung und -darstellung für ein umfassendes Datenmanagement genutzt werden sollte.

Das Zusammenführen der verschiedenen Bauaufnahmeverfahren zu einer methodenintegrierenden und interdisziplinären Bauaufnahmestrategie kann die Qualität wie die Nutzungsmöglichkeiten von Bauaufnahmeergebnissen wesentlich verbessern und damit einen großen Beitrag für die Akzeptanz der Bauaufnahme bei allen bauwerksbezogenen Fragestellungen leisten.

Literaturverzeichnis

ADDPLAN: http://www.kubit.de, recherchiert 2000.

ALBERTZ, J.: Digitale Bildverarbeitung in der Nahbereichsphotogrammetrie – Neue Möglichkeiten und Aufgaben. Bildmessung und Luftbildwesen, 1986, S. 34-45.

ALBERTZ, J.: 90 Jahre Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e.V. In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, Heft 5, 1999, S. 293-342.

ALBERTZ, J., WIEDEMANN, A. (Hrsg.): Architekturphotogrammetrie, gestern – heute – morgen. Technische Universität Berlin, Berlin 1997.

ALMER, A., NISCHELWITZER, A. K.: 3D-Visualisation of leisure & tourism information based on remote sensing data. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Supplement B5, Amsterdam, 2000, S. 4-11.

ANDRAE, W.: Lebenserinnerungen eines Ausgräbers. Berlin, 1961, S. 78f.

ARCINFO: http://www.esri.com, recherchiert 2001.

ARCVIEW: http://www.esri.com, recherchiert 2001.

ARCHÄOCAD: http://www.arctron.de, recherchiert 2001.

ARCHÄOMAP: http://www.arctron.de, recherchiert 2001.

ARPENTEUR: http://www.arpenteur.net, recherchiert 2001.

ARTESE, G., ACHILLI, V.: Infrared photogrammetry for the thermal and geometric surveying of a building facade. In: Optical 3-D measurement techniques. Wichmann Verlag, 1997, S. 259-265.

ATKINSON, K. B. (Hrsg.):Close-Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing, Caithness, England, 1996.

AUTODESK: http://www.autodesk.de, recherchiert 2001.

AYUTTHAYA: http://www.sli.unimelb.edu.ac/~cliff/oboi.html, recherchiert 2001.

BÄHR, H.-P., VÖGTLE, T.: Digitale Bildverarbeitung. Wichmann Verlag Heidelberg, 1998.

BALETTI, C.: Digital images in monumental facades surveying and representation. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 202-208.

BARTMANN-KOMPA, I.: Die Dokumentation des Bestandes und der denkmalpflegerischen Maßnahme. In: Berger, H. (Red.): Baudenkmalpflege - Beiträge zur Methodik und Technologie. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1990, S. 15-25.

BARTOLOTTA, M., DI NARO, S., LO BRUTTO, M., MISURACA, P., VILLA, B.: Information Systems for preservation of Culture Heritage. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5, Amsterdam, 2000, S. 864-871.

BEHRENS, E.: EDV-gestützte Kartierung. In: Segers-Glocke, C.: Bestandserfassung und Bestandsanalyse an Kulturdenkmalen. Niedersächsisches Landesverwaltungsamt, 1993, S. 44-49.

BEHRENS, E., BECK, S.: Systematik für die manuelle und EDV-gestützte Kartierung. In: Segers-Glocke, C.: Bestandserfassung und Bestandsanalyse an Kulturdenkmalen. Niedersächsisches Landesverwaltungsamt, 1993, S. 28-43.

BENNING, W.: Digitale Nahbereichsphotogrammetrie mit dem System PHOCAD. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 7, 1995, S. 485-490.

BENNING, W.: 1200 Jahre Aachener Dom – ein Weltkulturerbe als photogrammetrische 3D-Dokumentation. Zeitschrift für Vermessungswesen, Nr. 8, 2000, S. 263-271.

BENTLEY: http://www.bentley.de, recherchiert 2001.

BERTHEAU, S.: http://www.c4dtreff.de/galerie/, recherchiert 2001.

BINGENHEIMER, K., HADLER, E.: Bauforschung als Grundlage für Bauplanung und Entwurf – eine Herausforderung an die Kreativität? In: Wohlleben, M., Sigel, B. (Hrsg.): Bauforschung und ihr Beitrag zum Entwurf. 1993.

BILL, R.: Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Band 1, Hardware, Software und Daten. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999a.

BILL, R.: Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Band 2, Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999b.

BITELLI, G., TINI, M. A., VITTUARI, L.: Close Range Photogrammetry, Virtual Reality and their integration in Archaeology. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5, Amsterdam, 2000, S. 872-879.

BLAXXUN: http://www.blaxxun.de; recherchiert 2001.

BOOCHS, F., HEINZ, G.: Generation and Use of Digital Surface Models for Volume Objects. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXI, Part B3, Wien, 1996.

BÖHLER, W., HEINZ, G., SCHERER, Y.: Using satellite images for Archaeological documentation. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 226-233.

BOUDON, P.: Der architektonische Raum: über das Verhältnis von Bauen und Erkennen. Birkhäuser Verlag, Basel, 1991.

BRENNER, C., HAALA, N.: Erfassung von 3D Stadtmodellen. In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 2/2000, S. 109-117.

BREUER, T.: Neue Baudenkmalkunde. Versuch einer Systematik. In: Denkmalinventarisation in Bayern, Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsheft 9, 1981a, S. 6-11.

BREUER, T.: Grundsätze zur Inventarisierung von Kunst- und Geschichtsdenkmalen in Bayern. Ein Entwurf. In: Denkmalinventarisation in Bayern, Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsheft 9, 1981b, S. 87-94.

BREUER, T.: Erfassen und Dokumentieren: Wissenschaftliche Methoden zur wertenden Darstellung geschichtlicher Überlieferung. In: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 16, 1982, S. 11-15.

BROCKHAUS: Bockhaus-Enzyklopädie. 19. Auflage, Band 14, Mannheim, 1991.

BROVELLI, M. A., MAURINO, A.: ArcheoGIS: An interoperable model for archaeological data. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B4, Amsterdam, 2000, S. 140-147.

BROWN, D.C.: The bundle adjustment – progress and prospectives. International Archives of Photogrammetry, Volume XXI, Part 3, ISP Congress, Helsinki, 1976, S. 1-33.

BUCHMANN, P.: Entwicklung eines Meßsystems zur automatischen polaren Objekterfassung am Beispiel der Bauaufnahme. DGK, Reihe C, Heft 456, München, 1996.

BUCHROITHNER, M.: Erstes stereoskopisches kartographisches Display. In: PFG 6/1998, S. 378-379.

CALLIDUS: http://www.callidus.de, recherchiert 2000.

CALMBACH, A.: http://www.calmbach.com/cinema/gallerie_5_1.html, recherchiert 2001.

CAMARA, L., LATORRE, P.: Information systems on heritage conservation. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 53-67.

CAREY, R., BELL, G.: The Annotated VRML 97 Reference. http://www.best.com/~rikk/Book/, recherchiert 2001.

CART: http://nickerson.icomos.org/cart/, recherchiert 2001.

CASOB: http://www.aadiplan.de, recherchiert 2000.

CATAL HÖYÜK: http://catal.arch.cam.ac.uk/catal/catal.html, recherchiert 2001.

CDW: RolleiMetric CDW, Benutzerhandbuch, Rollei Fototechnik, Braunschweig, 1996.

CGA:// http://www.cga.de/mainfrge.htm, recherchiert 2001.

CHAPMAN, D., DEACON, A.: The rule of spatially indexed image archives for „As-Built" modelling of large process plant facilities. Optical 3-D measurement techniques IV, Wichmann Verlag, 1997, S. 475-482.

CHAPMAN, D., PEIPE, J., ROBSON, S.: On the integration of digital photogrammetry with computer aided engineering. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5W11, Thessaloniki, veröffentlicht auf CD, 1999.

CIPA: Architekturphotogrammetrie. Photogrammetrische Bauaufnahme (Gesichtspunkte und Empfehlungen). Comité International de Photogrammétrie Architectural (CIPA). Herausgegeben durch den Fachbereich Vermessung und Kartographie der Fachhochschule Karlsruhe, 1982.

CIPA: http://cipa.uibk.ac.at, recherchiert 2001.

CISCA: http://ipfu1.bau-verm.uni-karlsruhe.de/Personen/landes/Campus3D/VRML-Modelle/various/doc/ recherchiert 2001.

COSMO PLAYER: http://www.sgi.com/software/cosmo/player.html, recherchiert 2001.

CRAMER, J.: Bauarchäologie und Entwerfen am profanen Baudenkmal. In: Bauwelt, Heft 33/1988.

CRAMER, J.: Handbuch der Bauaufnahme. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1993.

CYRA: http://www.cyra.com, recherchiert 2000.

C4D: http://www.c4dtreff.de, recherchiert 2001.

DECHAU, W.: Architektur abbilden. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1995.

DIA: Dokumentations- und Informationssystem Archäologie. Landesamt für Archäologie Sachsen, http://www.archsax.sachsen.de/projekte/gis.html, recherchiert 2001.

DIPAD: http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/dapcad/dapcad.html, recherchiert 1998.

DISCREET: http://www.discreet.de, recherchiert 2001.

DÖRING, M.: Die Maxentius-Basilika – Ein Arbeitsbericht. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 147-152.

DONEUS, M., HANKE, K.: Anaglyph images – still a good way to look at 3D-objects. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999, veröffentlicht auf CD.

DORFFNER, L.: Using photo-models as a base for an interactive three-dimensional information system. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999, veröffentlicht auf CD.

DRANSCH, D.: Medienpsychologische Aspekte beim Einsatz von Multimedia in GIS. In: GIS und Kartographie im multimedialen Umfeld. Kartographische Schriften, Band 2, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1997.

DZIERZON, M.: Altbauten zerstörungsfrei untersuchen. Rudolf Müller Verlag, Köln, 1990.

D4D: http://www.inf.tu-dresden.de/D4D/, recherchiert 2001.

ECKERT, H.: Methoden der bauhistorischen Untersuchung in der praktischen Denkmalpflege. In: Wenzel, F. (Hrsg.): Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Baugefüge, Konstruktionen, Werkstoffe. Sonderforschungsbereich 315, Jahrbuch 1987, Universität Karlsruhe, 1987, S. 21-34.

ECKSTEIN, G.: Dokumentation in der Denkmalpflege – Welchen Beitrag kann die Photogrammetrie heute leisten? In: 100 Jahre Königliche Meßbildanstalt Berlin, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Wissenschaftliche Jahrestagung Berlin 1985, Frankfurt 1986, S. 127-137.

ECKSTEIN, G.: Photogrammetric measurement to interpret the damage evolution of the stone sculpture in the Holy Cross Minster in Schwäbisch Gmünd, Germany. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 154-160.

ECKSTEIN, G.: Empfehlungen für Baudokumentationen. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Arbeitsheft 7, Stuttgart, 1999.

EDDI-2D: http://www.fokus-GmbH-Leipzig.de, recherchiert 2001.

ELCOVISION: http://www.pms.co.at, recherchiert 2001.

EL-HAKIM, S. F., BRENNER, C., ROTH, G.: An Approach to creating virtual environments using range and texture. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5, Hakodate, 1998, S. 331-338.

ELSP: http://www.pms.co.at, recherchiert 2001.

EYETRONICS: http://www.eyetronics.com, recherchiert 2001.

FARADAY: http://www.faraday.gla.ac.uk/, recherchiert 2001.

FLORENZANO, M., BLAISE, J.-Y., DRAP, P.: PAROS: Le sens de la mesure. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXI, Part B5, XVIII ISPRS Congress, Vienna, 1996, S. 167-172.

FLORENZANO, M., BLAISE, J.-Y., DRAP, P.: PAROS – Photogrammetry and architectural models. http://www.gamsau.archi.fr/PAROS/PUBLIS/ISP_ENG/ISP_ENG.HTM, recherchiert 2001.

FORAMITTI, H.: Der Wert modernen photogrammetrischer Kulturgüterarchive. In: Landeskonservator Rheinland (Hrsg.), Arbeitsheft 16, Rheinland-Verlag, Köln, 1976.

FRAUENKIRCHE: Animierte Rekonstruktion der Dresdener Frauenkirche. IBM Deutschland, Informationssysteme GmbH, Karl-Anold-Platz 1a, 40474 Düsseldorf, 1995.

FROMHERZ, T., BICHSEL, M.: Multiple Depth and Normal Maps for shape from multiple views and visual cues. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5W1, „From Pixel to Sequences", 1995.

GELHAUS, R., KOLOUCH, D.: Vermessungskunde für Architekten und Bauingenieure. Werner Verlag, Düsseldorf, 1997.

GEODIMETER: http://www.roboticsurveying.com/general_index.htm, recherchiert 2000.

GEOMEDIA: http://www.ikgis.de/intergraph, recherchiert 2001.

GEOTIFF: http://www.remotesensing.org/geotiff/geotiff.html, recherchiert 2000.

GERNER-HANSEN, C.: Bauaufnahme als gezeichnete Deutungspraxis. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 32-33.

GLVIEW: http://home.snafu.de/hg/, recherchiert 2001.

GIF: http://members.aol.com/royalef/gifmake.htm, recherchiert 2001.

GISMONDI: Roma antiqua im IV. Jhrt. n. Chr., Museo della Civiltà Romana. 1934.

GIS-REPORT: http://hp1-bbg.hs-anhalt.de/gis/software.html, recherchiert 2001.

GOURAD, K.: Geographic Information Systems in Archaeology: a Survey. 1999.
http://research.hunter.cuny.edu/arch/survey.html, recherchiert 2001.

GRAI: http://www.grai-imaging.com, recherchiert 2001.

GRÄTZ, J.-F.: Handbuch der 3D-CAD-Technik, Siemens, 1989.

GRIMM, A.: Albrecht Meydenbauer – ein Leben für Photogrammetrie und Denkmalpflege. In: 100 Jahre Königliche Meßbildanstalt Berlin, DGPF, Wissenschaftliche Jahrestagung Berlin 1985, Frankfurt, 1986, S. 13-23.

GRÜN, A.: Von Meydenbauer zu Megaplus: Architekturphotogrammetrie im Spiegel der technischen Entwicklung. In: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Heft 2, 1994, S. 41-56.

GRÜN, A., BÄR, S., BEUTNER, S.: Signals in the Sand: 3-D Recording and Visualization of the Nasca Geoglyphs. In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, Nr. 6, 2000, S. 385-398.

GRUSSENMEYER, P.: Learning the orientation of a digital photogrammetric stereomodel. XXIth International Congress of the International Federation of Surveyors, Proceedings of Commission 2, ISBN 0-85406-898-8, 1998, S. 301-310.

GRUSSENMEYER, P., DRAP, P., KOEHL, M., BLAISE, J.-Y.: Tiphon and Arpenteur: Simple photogrammetric software packages for stereoplotting. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5/W11, ISPRS Comm. V/5 and V/2 Int. Workshop, Thessaloniki, 1999a, S. 51-57.

GRUSSENMEYER, P., KOEHL, M., NOUR EL DIN, M.: 3D geometric and semantic modelling in historic sites. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999b, veröffentlicht auf CD.

GRUSSENMEYER, P., DRAP, P.: Teaching architectural photogrammetry on the web with Arpenteur. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B6, Amsterdam, 2000, S. 102-109.

GSCHWIND, R., GÜNZL, A.: Was bleibt ist das Umkopieren – Ein digitales Langzeitarchiv für Fotosammlungen. Rundbrief Fotografie, Sonderheft Nr. 3, 1997, S. 27-30.

GUERRA, F., MINIUTTI, D.: The cartographic projections for the representation of double curved surfaces. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5/1, Amsterdam, 2000, S. 533-538.

HAKE, G., GRÜNREICH, D.: Kartographie, Verlag de Gruyter, Berlin, 1994.

HANKE, K.: The PhotoCD – A source and Digital Memory for Photogrammetric Images. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5, 1994, S. 144-149.

HANSEN, E.: Handaufmaß und bauarchäologische Analyse: Ein Stein in Delphi. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 182-186.

HASELBERGER, L.: Werkzeichnungen am Jüngeren Didymeion. Vorbericht. In: Instanbuler Mitteilungen 30, 1980, S. 191-215.

HASPEL, J.: Denkmalpflege im Griff von Politik und Investoren. In: Denkmalpflege 2000. Grundpositionen und Perspektiven am Beginn des 21. Jahrhunderts. Leipzig 2000. Druck in Vorbereitung.

HECKES, J., HORNSCHUCH, A., NIEDERHAGEMANN, S.: Photogrammetrie und digitale Bildverarbeitung beim Deutschen Bergbau-Museum. In. Albertz, J. (Hrsg.): Publikationen der DGPF, Band 8, Berlin, 2000, S. 269-275.

HECKES, J.: Zur Dokumentation historischer Bausubstanz, Techniken und Anwendungen. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 68-73.

HEILIGER, R.: Architektur-Vermessung: Erfassen und Dokumentieren von Baubestand. In: Schrader, B. (Red.): Gebäudeinformationssysteme. Schriftenreihe des DVW, Band 19, 1995a, S. 169-174.

HEILIGER, R.: Erfassen und Dokumentieren von Baubestand. In: Facility Management, Nr.3, 1995b, S. 62-65.

HEILIGER, R.: Architektur-Vermessung. Verlag Chiemlorz, ISBN 3-87124-236-5, Bezug unter: http://www.IngenieurTeam2.com, 2000.

HEINE, E.: High precision building documentation: Element definition and data structuring. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999, veröffentlicht auf CD.

HEINE, E.: Die strukturierte Datenerfassung und das Visualisierungspotenzial des digitalen Bauwerksmodells. Der Palast von Santa Rosa Xtampak. Dissertation, Technische Universität Graz, 2000.

HELMERT, F.R.: Die mathematischen und physikalischen Theorieen der Höheren Geodäsie. 1. Teil, Aachen 1880. 2. Auflage, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1962, S. 3.

HEMMLEB, M., WIEDEMANN, A.: Digital rectification of orthoimages in architectural photogrammetry. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 261-267.

HEMMLEB, M., SIEDLER, G.: Photogrammetrische Arbeiten für die Restaurierung des Marmorpalais im Neuen Garten in Potsdam. In: Vermessung Brandenburg, Landesvermessungsamt Brandenburg, Nr. 2/2000, S. 12-19.

HEMMLEB, M, SIEDLER, G., SACHER, G.: Digitale Bildentzerrungen und -abwicklungen für die Anwendung in Denkmalpflege, Bauforschung und Restaurierung. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 74-82.

HENNECKE, F., MECKENSTOCK, H. J., POLLMER, G.: Vermessung im Bauwesen. Dümmler Verlag, Bonn, 1994a.

HENNECKE, F., MÜLLER, G., WERNER, H.: Handbuch Ingenieurvermessung. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1994b.

HERBIG, U., WALDHÄUSL, P.: APIS – Architectural Photogrammetry Information System. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 23-27.

HERBORN: 750 Jahre Stadt Herborn. Herausgegeben von G. Pomaska, Bezug unter: http://www.imagework.de, recherchiert 2001.

HERRÁEZ BOQUERA, J., NAVARRO ESTEVE, P., LERMA GARCIA, J. L.: Integration of normal colour and colour infrared emulsion for the identification of parthologies in architectural heritage using a digital photogrammetric system. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 240-245.

HINKEL, F.W.: Meroitische Architektur. In: Wildung, D.: Sudan, Antike Königreiche am Nil. Katalog zur Ausstellung. Wasmuth Verlag, Tübingen, 1996, S. 393-415.

HIRSCHBERG, U.: Object-oriented data-integration between digital architectural photogrammetry and CAAD. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 31, Part B5, XVIII ISPRS Congress, Vienna, 1996, S. 237-242.

HOF, C.: Beurteilung historischer Dachwerke am CAD-Modell – Anforderungen an die Bauaufnahme. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 240-250.

HOFFMANN, A., RITTER, B., WEFERLING, U., WULF-RHEIDT, U.: Grandiose Ausblicke – Neue Einblicke in das Palastleben der römischen Kaiser. Dokumentation und bauhistorische Untersuchung der ‚Domus Severiana' auf dem Palatin in Rom. In: Antike Welt, Heft 5, 2000, S. 445-457.

HÖLZL, F.: Genauigkeitskriterien und Anforderungen an Aufmaßpläne für die Instandsetzungsplanung von Baudenkmälern. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 44-49.

HOVESTADT, V.: Informationsgebäude – Ein Integrationsmodell für Architektur und Informationstechnologien. Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 276, 1998.

HUEP, W.: Zum Einsatz der reflektorlosen Tachymetrie bei der Gebäude-Bestandserfassung. In: Schrader, B. (Red.): Gebäudeinformationssysteme. Schriftenreihe des DVW, Band 19, 1995, S. 99-110.

HUSKY: http://www.itronix.co.uk/germany/, recherchiert 2001.

IKGIS: http://www.ikgis.de/ikgis/Projekte/VRML/default.htm, recherchiert 2001.

IMAGEFACT: http://www.imagefact.de, recherchiert 2001.

IMAGEMODELER: http://www.realviz.com, recherchiert 2001.

IOANNIDIS, C., POTSIOU, C., BADEKAS, J.: 3D detailed reconstruction of a demolished building by using old photographs. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXI, Part B5, XVIII ISPRS Congress, Vienna, 1996, S. 16-21.

IOANNIDIS, C., POTSIOU, C., BADEKAS, J.: The use of contemporary photogrammetric procedures for the recording and documentation of large monuments and their graphic representation. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 131-140.

IOANNIDIS, C., POTSIOU, C., SOILE, S., BADEKAS, J.: Detailed 3D repreaentation of archaeological sites. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5, Amsterdam, 2000, S. 642-649.

ITO, J., TOKMAKIDIS, K., INADA, K.: Reconstruction of the stadion area of ancient Messene using 3D Computer Graphics and analysis of its townscape. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5, Amsterdam, 2000, S. 395-400.

JACHIMSKI, J. J., ZIELINSKI, M. J.: Digital stereoplotter for historic monuments recording. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXI, Part B5, XVIII ISPRS Congress, Vienna, 1996, S. 259-263.

JÄNSCH, R. D.: Genauigkeitsansprüche bei der photogrammetrischen Bauaufnahme. Architektur-Photogrammetrie II, Landeskonservator, Arbeitsheft 17, Rheinland-Verlag, Köln, 1976. S. 103-107.

JARNACH, M.: Einsatz eines Laser-Scanners in der Denkmalpflege. In: Hünerfeld, L., Kupp, W., Vollbracht, R. (Red.): 78. Deutscher Geodätentag in Mainz. Schriftenreihe des DVW, Band 12, 1994.

JOBST, M.: The photogrammetric documentation of epigraphs with small format cameras. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999, veröffentlicht auf CD.

JORDAN, W.: Handbuch der Vermessungskunde. Verlag. Metzler'schen Buchhandlung, Karlsruhe, 1877.

KAHMEN, H.: Vermessungskunde. Verlag de Gruyter, Berlin, 1993.

KARRAS G.E., PATIAS P., PETSA E.: Digital monoplotting and photo-unwrapping of developable surfaces in architectural photogrammetry. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXI, Part B5, XVIII ISPRS Congress, Vienna, 1996, S. 290-294.

KARRAS G.E., PATIAS P., PETSA E., KETIPIS K.: Raster projection and development of curved surfaces. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 179-185.

KEHNE, G., RUNNE, H.: Gebäudeinformationssysteme aus geodätischer Sicht. Zeitschrift für Vermessungswesen, Jg. 118, 1993, S. 450-455.

KEHNE, G.: Beiträge zum Einsatz tachymetrischer Verfahren in der Bauaufnahme. Geodätische Schriftenreihe der TU Braunschweig, Nr. 9, 1989.

KERN, F.: Bauaufnahme der Synagoge Wörlitz mittels reflektorloser Polaraufnahme. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 198-205.

KLEINMANNS, J.: Die restauratorische Untersuchung in der historischen Bauforschung. Methoden und Aufgaben. In: Wenzel, F. (Hrsg.): Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Baugefüge, Konstruktionen, Werkstoffe. Sonderforschungsbereich 315, Jahrbuch 1993, Universität Karlsruhe, 1993, S. 1-26.

KNOEPFLI, A.: Erläuterungen zu den Methoden der Ortsbild-Inventarisation. In: Ortsbild-Inventarisation. Aber wie? Institut der ETH Zürich, Band 2, 1976a.

KNOEPFLI, A.: Historische Plan- und Bilddokumente. In: Ortsbild-Inventarisation. Aber wie? Institut der ETH Zürich, Band 2, 1976b.

KNOOP, G., NUSSBAUM, N., JACOBS, U.: Bauforschung: Dokumentation und Auswertung. Arbeitsheft 43, Rheinisches Amt für Denkmalpflege, Köln, 1992.

KOBERMAIER, F.: The Vienna protection zone scheme. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 28-40.

KOCH, R., POLLEFEYS, M., VAN GOOL, L.: 3D-Oberflächenrekonstruktion aus unkalibrierten Bildsequenzen. Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Jahrestagung 1999, Essen, S. 293-300.

KÖHLER, M.: Einige theoretische Grundlagen für die reflektorlose Messung mit dem Zeiss-Tachymeter Rec Elta RL. In: Der Vermessungsingenieur. Heft 5, 1994, S. 216-221.

KOLDEWEY, R.: Aufgeschrieben von Oscar Reuther: Erinnerungen an Robert Koldewey. In: Koldewey-Gesellschaft (Hrsg.). Festschrift zum 80. Geburtstag von E. W. Andrae, Karlsruhe, 1955, S. 31-34.

KOPPE, R.: Zur Geschichte und zum gegenwärtigen Stand des Meßbildarchivs. In: Albertz, J., Wiedemann, A. (Hrsg.): Architekturphotogrammetrie, gestern – heute – morgen. Technische Universität Berlin, Berlin 1997, S. 41-57.

KORTE, M. H.: Neue Techniken der Bauaufnahme. In: Bauwelt, Heft 33/1988.

KORTE, M. H.: Erfassungstechniken für die maßlich-graphische und alphanumerische Bestandsaufnahme. In: Schrader, B. (Red.): Gebäudeinformationssysteme. Schriftenreihe des DVW, Band 19, 1995, S. 111-124.

KOTOWSKI, R., PEIPE, J., WESTER-EBBINGHAUS, W.: Ein Beispiel für die gemeinsame Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen – Arbeiten an der Basilika di San Francesco in Sienna. In: 100 Jahre Königliche Meßbildanstalt Berlin, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Wissenschaftliche Jahrestagung Berlin 1985, Frankfurt 1986, S. 121-125.

KOTOWSKI, R., PEIPE, J., WESTER-EBBINGHAUS, W.: Bundle triangulation in architectural photogrammetry: The basilica of San Francesco in Siena. In: Photogrammetric Record, 12(72), 1988, S. 857-871.

KRAUS, K.: Photogrammetrie, Band 1, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn, 1990.

KREON: http://www.kreon3d.com, recherchiert 2001.

KRESSE, W.: Vortrag gehalten im DVW-Kolloquium Berlin, 2000, unveröffentlicht.

LAGERQVIST, B.: The conservation information system, Photogrammetry as a base for designing documentation in conservation and cultural resources management. Göteborg Studies in Conservation, nr. 4, ISBN 91-7346-302-7. 1996.

LANDES, S.: Funktionalität des internetbasierten 3D-Campus-Informationssystems der Universität Karlsruhe (CISKA). Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 513, München, 1999.

LEICA: http://www.leica-geosystems.com, recherchiert 2000.

LERMA, J. L., RUIZ, L. A., BUCHÓN, F.: Application of spectral and textural classification to recognize materials and damages on historic building facades. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5/1, Amsterdam, 2000, S. 480-483.

LI, C.: Nachträgliche Kalibrierung der historischen Meydenbauer-Kameras. In: In: Albertz, J., Wiedemann, A. (Hrsg.): Architekturphotogrammetrie, gestern – heute – morgen. Technische Universität Berlin, Berlin 1997, S. 63-77.

LI, R.: Building Octree Representation of Three-Dimensional Objects in CAD/CAM by Digital Image Matching Techniques. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Volume 58, No. 12, 1992, S. 1685-1691.

LICHTENBERG, C., POMASKA, G.: Programming an image database management system for use inside a CAD-environment. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5, Hakodate, 1998, S. 230-235.

LUHMANN, T.: Nahbereichsphotogrammetrie, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000.

MAAS, H.-G.: Algorithmen der Bildanalyse und -zuordnung. In: Hybride Vermessungssysteme, DVW-Schriftenreihe, Nr. 29, 1998, S. 67-82.

MADER, G. T.: Angewandte Bauforschung als Planungshilfe bei der Denkmalinstandsetzung. In: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band16, 1982, S. 37-53.

MADER, G. T.: Bauuntersuchung historischer Holzkonstruktionen. In: Bauaufnahme – Befunderhebung und Schadensanalyse an historischen Bauwerken. Sonderforschungsbereich 315, Arbeitsheft 8, Universität Karlsruhe, 1988.

MADER, G. T.: Bauforschung und die Erkundung von Bauschäden. In: Wohlleben, M, Sigel, B. (Hrsg.): Bauforschung und ihr Beitrag zum Entwurf. 1993, S. 31-48.

MADER, G. T.: Unveröffentlichter Beitrag zur Diskussion im Rahmen des Kolloquiums 'Von Handaufmaß bis High Tech', Cottbus, 2000.

MADER, G. T.: Vergleich händischer und rechnergestützter Verfahren; Anwendung und Wirtschaftlichkeit. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 99-110.

MAGERL, A.: Bauaufnahme in der Praxis des freien Architekten: Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Ergebnisse. In: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 16, 1982, S. 54-59.

MAPINFO: http://www.mapinfo.com, recherchiert 2001.

MAP500: http://www.zeiss.de, recherchiert 2001.

MARTEN, W., MAUELSHAGEN, L., PALLASKE, R.: Digital Orthoimage-System for Architecture Representation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 49(5), 1994, S. 16-22.

MAYA: http://www.aw.sgi.com, recherchiert 2001.

MDL: http://www.mdl.co.uk, recherchiert 2000.

MEISEL, U., MENNICKEN-HAUSCHILDT, A.: Restauratorische Untersuchungs- und Erhaltungstechniken. Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung Nordrhein Westfalen, Fachinformation 3.4, 1990.

MENSI: http://www.mensi.com, recherchiert 2001.

MERTENS, D.: Der Tempel von Segesta und die dorische Tempelbaukunst des griechischen Westens in klassischer Zeit. Mainz, 1984.

MESSBILDSTELLE: http://www.messbildstelle.de, recherchiert 2001.

MEYDENBAUER, A.: Ein deutsches Denkmäler-Archiv. Deutsche Bauzeitung 28, Nr. 102/103, 1894, S. 629-631.

MEYDENBAUER, A.: Das Denkmäler-Archiv und seine Herstellung durch das Meßbild-Verfahren. Denkschrift anlässlich der Internationalen Photographischen Amateur-Ausstellung, 1896. Nachdruck durch Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Berlin, 1993.

MEYER, R.: Albrecht Meydenbauer – Baukunst in historischen Fotografien. Fotokinoverlag, Leipzig, 1985.

MEYER, R.: Das Lebenswerk Albrecht Meydenbauers aus heutiger Sicht. In: Albertz, J., Wiedemann, A. (Hrsg.): Architekturphotogrammetrie, gestern – heute – morgen. Technische Universität Berlin, Berlin 1997, S. 29-39.

MGISOFT: http://www.mgisoft.com, recherchiert 2001.

MICHELBACHER, E.: Ein neues Tachymeter mit reflektorloser Distanzmessung. Zeiss Rec Elta RL. In: Vermessung und Raumordnung, Heft 5/6, 1993, S. 307-315.

MICROPORT: http://www.microport.de, recherchiert 2001.

MOBI: http://www.architekturvermessung.de, recherchiert 2000.

MÖRSCH, G.: Beitrag zur Diskussion. In: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 16, 1982, S. 60.

MÖSER, M. et al.: Handbuch Ingenieurgeodäsie, Grundlagen. 3. Auflage, Wichmann Verlag, 2000.

MR2: RolleiMetric MR2, Benutzerhandbuch, 2. überarbeitete Auflage, Rollei Fototechnik, Braunschweig, 1994.

MSR: RolleiMetric MSR, Version 2.0, Benutzerhandbuch, Rollei Fototechnik, Braunschweig, 1996.

MÜLLER, R.: Zur Geschichte des Modelldenkens und des Modellbegriffs. In: Stachowiak, H. (Hrsg.): Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit. München, 1983, S.17-86.

NÄVY, J.: Facility-Management. Springer Verlag, Berlin, 1998.

NIEMEIER, W., KERN, F.: Anwendungspotenziale von scannenden Messverfahren. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 134-140.

NOHLEN, K.: Sehen, was man hat! Zur Ausbildung von Nicht-Spezialisten – Bauaufnahme an der Fachhochschule In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 56-58.

OGLEBY, C.: From rubble to Virtual Reality, a reconstruction of the ancient city of Ayutthaya using modern photogrammetric techniques. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 75-80.

PAROS: http://www.gamsau.archi.fr/PAROS/SOURCE/PAROS.HTM, recherchiert 2001.

PATIAS, P., TSIOUKAS, V.: Multi-image Matching for architectural and archaeological orthoimage production. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999, veröffentlicht auf CD.

PELZER, H.: Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung. Stuttgart, 1980.

PETZET, M., MADER, G.T.: Praktische Denkmalpflege. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1993.

PHIDIAS: http://www.gia.rwth-aachen.de/GIA/Forschung/Photogm/phidias/index.html, recherchiert 2001.

PHOTOMODELER: http://www.photomodeler.com, recherchiert 2001.

PHOTOSHOP: http://www.adobe.de/products/photoshop/main.html, recherchiert 2001.

PICTRAN: http://www.technet-gmbh.com, recherchiert 2001.

PITSCHKE, I., GORNY, P.: Stereo View – Ein System zur interaktiven 3D-Geometrie-Rekonstruktion. In: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 5, 1993, S. 185-192.

PITTIONI, V.: Modelle und Mathematik. In: Stachowiak, H.(Hrsg.): Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit. München, 1983, S. 171-221.

POLLEFEYS, M., KOCH, R., VERGAUWEN, M., VAN GOOL, L.: An automatic method for acquiring 3d models from photographs: application to an archaeological site. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5W11, Thessaloniki 1999, veröffentlicht auf CD.

POLLEFEYS, M., VERGAUWEN, M., VAN GOOL, L.: Automatic 3D Modeling from image sequences. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5/2, Amsterdam, 2000, S. 619-626.

POMASKA, G.: Stereoscopic images for visualization of Culture Heritage. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5W11, Thessaloniki 1999, veröffentlicht auf CD.

POMASKA, G.: Aufnahme, Berechnung und Betrachtung von Stereobildern. In: http://www.imagefact.de, recherchiert 2001a.

POMASKA, G.: Dokumentation von Skulpturen – Aufnahmeverfahren, Modellierung und Präsentation. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 124-127.

QUICK SKETCH: http://rabbit.prakinf.tu-ilmenau.de/qsketch.html, recherchiert 2001.

QUICKTIME: http://www.apple.com/quicktime/, recherchiert 2001.

RANK, E.: http://www.bauwesen.uni-dortmund.de/forschung/xanten/german/xanten_stadtplan.html, 1995, recherchiert 2001.

RASLAN, M. A. M.: Inwieweit erfüllt die Architekturphotogrammetrie die Forderungen der Bauforschung, und wie ist sie von Architekten anzuwenden? Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 80, 1965.

REGENSBURGER, K.: Photogrammetrie – Anwendungen in Wissenschaft und Technik. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1990.

REICHSTEIN, J.: Erfassen und Dokumentieren: wissenschaftliche und praktische Probleme im Bereich der Archäologie. In: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 16, 1982, S. 80-84.

REICHWALD, H. F.: Grundlagen wissenschaftlicher Konservierungs- und Restaurierungskonzepte. In: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 16, 1982, S. 17-35.

RENUNCIO, L. E., BÄHR, H.-P.: Low-cost documentation of Brazilian historical Towns: Integrating photogrammetry to virtual reality and web-based approaches. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5/2, Amsterdam, 2000, S. 658-663.

RESNIK, B., BILL, R.: Vermessungskunde für den Planungs-, Bau- und Umweltbereich. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000.

RIECHMANN, W., THIELBEER, B: Hochauflösende Oberflächenerfassung durch Photogrammetrie und Streifenprojektion. PFG, Nr. 3, 1997, S. 155-164.

RIEGER, A.: Animation von baugeschichtlichen und archäologischen Objekten, High Tech im Computer – die Präsentationsmöglichkeiten. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 262-266.

RIEGL: http://www.riegl.com, recherchiert 2000.

ROBINSON, A. H., MORRISON, J. L., MUEHRCKE, P. C., KIMERLING, A. J., GUPTILL, S. C.: Elements of Cartography. Verlag John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.

RODEHORST, V.: Digitale Bildanalyse in der Architekturphotogrammetrie. In: Albertz, J., Wiedemann, A. (Hrsg.): Architekturphotogrammetrie, gestern – heute – morgen. Technische Universität Berlin, Berlin 1997, S. 95-113.

ROHN, C.: Bauforschung am 3-D-Modell, der Theater-Stadion-Komplex in Aizanoi (Türkei). In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 251-255.

RUNNE, H.: Geodätische Datengewinnung für Gebäudeinformationssysteme unter Anwendung reflektorloser tachymetrischer Verfahren. Geodätische Schriftenreihe der TU Braunschweig, Nr.11, 1993.

SCHERER, M., JURETZKO, M.: Ein System zur hochgenauen Fassadenvermessung. In: Schnädelbach, K., Schilcher, M. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 2000. Wittwer Verlag, Stuttgart, 2000, S. 400-405.

SCHERER-HALL, R.: Einige neuere Aspekte zur Vorbereitung, Ausführung und zur praktischen Anwendung einer Inventarisation von Burgen und Schlössern mittels einer elektronischen Datenbank, In: Denkmalpflege und computergestützte Dokumentation und Information. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 44, 1992, S. 83-87.

SCHIRMER, W., ZICK, W.: Überlegungen zur Absteckung des Bauwerks auf der Baustelle und zu den verwendeten Maßeinheiten. In: SCHIRMER, W.: Castel del Monte, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2000, S. 84-94.

SCHMIDT, H.: Bauaufnahme. Die Entwicklung der Methoden im 19. Jahrhundert. In: Wenzel, F. (Hrsg.): Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Baugefüge, Konstruktionen, Werkstoffe. Sonderforschungsbereich 315, Jahrbuch 1986, Universität Karlsruhe, S. 23-69.

SCHMIDT, H.: Zusammenfassung. In: Bauaufnahme – Befunderhebung und Schadensanalyse an historischen Bauwerken, Sonderforschungsbereich 315, Arbeitsheft 8, Universität Karlsruhe, 1988.

SCHMIDT, H.: Kloster Maulbronn. Bauaufnahme und Bestandsdokumentation. In: Wenzel, F. (Hrsg.): Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Baugefüge, Konstruktionen, Werkstoffe. Sonderforschungsbereich 315, Jahrbuch 1993, Universität Karlsruhe, S. 255-268.

SCHMIDT, W.: Das Raumbuch. In: Bauaufnahme – Befunderhebung und Schadensanalyse an historischen Bauwerken. Sonderforschungsbereich 315, Arbeitsheft 8, Universität Karlsruhe, 1988.

SCHRADER, B. (Red.): Gebäudeinformationssysteme, DVW-Schriftenreihe, Band 19, Stuttgart, 1995.

SCHULLER, M.: Historische Bautechnik und Bauorganisation – Ergebnisse moderner Bauforschung. In: Wohlleben, M; Sigel, B. (Hrsg.): Bauforschung und ihr Beitrag zum Entwurf. 1993, S. 67-91.

SCHULLER, M.: Mehr Denken statt nur Messen. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 213-226.

SCHULTZ, G.: 100 Jahre Denkmälerarchiv. In: 100 Jahre Königliche Meßbildanstalt Berlin, DGPF, Wissenschaftliche Jahrestagung Berlin 1985, Frankfurt, 1986, S. 213-236.

SCHULZ, H.-U.: Digitale Photogrammetrie und Bauwerksrekonstruktion. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 227-232.

SCHÜRLE, T., BOY, A., FRITSCH, D.: Geographic Information Systems and Facility Management. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part4, Com. IV Symposium, Stuttgart, 1998, S. 562-568.

SECKEL, H., HELL, G., SCHNUCHEL, W.: Vermessungskunde und Bauaufnahme für Architekten. Wichmann Verlag Karlsruhe, 1983.

SEEGER, E.: Das Orthophotoverfahren in der Architekturphotogrammetrie. Veröffentlichungen des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 5, 1979.

SKALECKI, G.: EDV-gestützte Inventarisation im Staatlichen Konservatoramt für das Saarland auf der Basis von MIDAS. In: Denkmalpflege und computergestützte Dokumentation und Information. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 44, 1992, S. 30-35.

SMALLWORLD: http://www.smallworld.de, recherchiert 2001.

SOFTIMAGE: http://www.softimage.com, recherchiert 2001.

SOKKIA: http://www.sokkia.com, recherchiert 2000.

STAATSMANN, K.: Das Aufnehmen von Architekturen. Leipzig, 1910.

STACHOWIAK, H.: Erkenntnisstufen zum Systematischen Neopragmatismus und zur Allgemeinen Modelltheorie. In: Stachowiak, H.(Hrsg.): Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit. München, 1983. S. 87-146.

STACHOWIAK, H.: Modell. In Seiffert, H. (Hrsg.): Handlexikon zur Wissenschaftstheorie. München, 1989, S. 219-222.

STEPHANI, M.: Zur Bestimmung der Metrologie antiker Bauten mit Hilfe der Photogrammetrie. In: 100 Jahre Königliche Meßbildanstalt Berlin, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Wissenschaftliche Jahrestagung Berlin 1985, Frankfurt 1986, S. 105-110.

STREILEIN, A.: Digitale Photogrammetrie und CAAD. Dissertation an der ETH Zürich Nr. 12897, Zürich, 1998.

STREILEIN, A., VAN DEN HEUVEL, F. A.: Potential and limitation for the 3D documentation of culture heritage from a single image. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999, veröffentlicht auf CD.

STREILEIN, A.: Automation in der digitalen Architekturphotogrammetrie. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 61-67.

STROBEL, R., BUCH, F.: Ortsanalyse: Zur Erfassung und Bewertung historischer Bereiche. Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Arbeitsheft 1, 1986.

SZAKTILLA, S.: Bauingenieure und Bauaufnahme. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 50-55.

TACHYCAD: http://www.kubit.de, recherchiert 2000.

TAJ MAHAL: http://www.intel.com/apac/eng/home/funstuff/tajmahal/model.htm, recherchiert 2001.

THEODOROPOULOU, I.: The definition of reference surfaces for architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5/2, Amsterdam, 2000, S. 830-837.

TOMASZEWSKI, A.: Photogrammetrie und Bauforschung, In: 100 Jahre Königliche Meßbildanstalt Berlin, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Wissenschaftliche Jahrestagung Berlin 1985, Frankfurt 1986, S. 49-54.

TOPCON: http://www.topcon.de, recherchiert 2000.

VIOLLET-LE-DUC, E.: Dictionnaire raisonné de l'architecture francaise du XI au XVI siègle, Paris 1854-1868, aufgeführt in Boudon, 1991.

VITRUV: Baukunst. Erster Band, Buch 4, Kapitel 1, Artemis Verlag, 1987.

VI-300: http://www.minolta.de, recherchiert 2001.

VAN DEN HEUVEL, F. A.: Reconstruction from a single Meydenbauer image. http://www.geo.tudelft.nl/frs/architec/Meydenbauer/, recherchiert 2001.

VON GERKAN, A.: Die gegenwärtige Lage der archäologischen Bauforschung in Deutschland. In: Zentralblatt der Bauverwaltung, 44/1924, S. 375-377. Reprint: Erich Boehringer (Hrsg.): Von antiker Architektur und Topographie. Gesammelte Werke von Armin von Gerkan. Stuttgart, 1959, S. 9-13.

VON GERKAN, A.: Grundlegendes zur Darstellungsmethode. Kursus für Bauforschung. Veranstaltet von der Koldewey-Gesellschaft in München 1930. In: Von antiker Architektur und Topographie, 1959, S. 99-106.

VRML 2.0 VIEWER: http://www.microsoft.com, recherchiert 2001.

WALDHÄUSL, P., BRUNNER, M.: Architectural photogrammetry world-wide and by anybody with non metric cameras? In: Hadjiev, G. (Hrsg.): Contribution of modern photogrammetry, remote sensing and image processing methods to the architectural and urban heritage. XI. Symposium of CIPA, Sofia, 1988, S. 35-49.

WALDHÄUSL, P., OGLEBY C.: 3 x 3 rules for simple photogrammetric documentation of architecture. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5, 1994, S. 426-429.

WALDHÄUSL, P.: Tasks for ISPRS Working Groups to serve ICOMOS. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5/W11, ISPRS Comm. V/5 and V/2 Int. Workshop, Thessaloniki, veröffentlicht auf CD, 1999.

WANGERIN, G.: Bauaufnahme. Grundlagen, Methoden, Darstellung. Braunschweig, Wiesbaden, 1992.

WEBKIS: http://www.gisquadrat.com, recherchiert 2001.

WEB3D: http://www.web3d.org/vrml/vrml.htm; recherchiert 2001.

WEFERLING, U.: The Integration of Conventional and Automatic Photogrammetric Methods to the Building Survey in Historic Building Research. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B5/2, Amsterdam 2000, S. 880-886.

WEFERLING, U.: Bauaufnahme – eine Modellierungsaufgabe. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 34-40.

WEHR, A.: Laserscanner in der Bauaufnahme. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 116-123.

WEHR, A., WIEDEMANN, A.: Fusion of photogrammetric and laser scanner data. In: XVII CIPA Symposium, Olinda, Brasilien, 1999, veröffentlicht auf CD.

WEIMANN, G.: Architekturphotogrammetrie. Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1988.

WESTCOTT, K., BRANDON, R. J.: Practical Applications of GIS in Archaeology. Taylor and Francis, London, 1999.

WESTER-EBBINGHAUS, W.: Photogrammetrische Punktbestimmung durch Bündelausgleichung zur allseitigen Erfassung eines räumlichen Objektes. In: Bildmessung und Luftbildwesen, Jg. 46, 1978, S. 198-204.

WESTER-EBBINGHAUS, W.: Ein photogrammetrisches System für Sonderanwendungen. In: Bildmessung und Luftbildwesen, Jg. 51, 1983, S. 118-128.

WESTER-EBBINGHAUS, W.: Ingenieur-Photogrammetrie – Neue Möglichkeiten. In: Forum, Heft 4, 1987, S. 193-213.

WHITING, D., NICKERSON, S.: Computer aided recording tools automate the creation of a site information system. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part 5C1B, CIPA Symposium, Göteborg, 1997, S. 121-130.

WIEDEMANN, A.: Orthophototechnik in der Architekturphotogrammetrie, Möglichkeiten und Grenzen. In: Albertz, J., Wiedemann, A. (Hrsg.): Architekturphotogrammetrie, gestern – heute – morgen. Technische Universität Berlin, Berlin 1997, S. 79-94.

WIEDEMANN, A.: Photogrammetrische Rekonstruktion zerstörter Bauten aus historischen Photographien. Vortrag gehalten auf der InterGEO, Berlin, 2000, http://www.fpk.tu-berlin.de/~albert/hp/index.htm

WIEDEMANN, A.: Digitale Architekturphotogrammetrie. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 256-261.

WITTE, B., SCHMIDT, H.: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. Wittwer Verlag, Stuttgart, 1991.

WOHLLEBEN, M.: Bauforschung und Entwurfprozeß – Gegensatz oder Ergänzung. In: Wohlleben, M, Sigel, B. (Hrsg.): Bauforschung und ihr Beitrag zum Entwurf. 1993, S. 9-16.

WULF-RHEIDT, U.: Mit welcher Methode sollen wir aufnehmen? Kombinierter Einsatz von Aufnahmemethoden am Beispiel der Domus Severiana auf dem Palatin in Rom. In: Weferling, U. et al. (Hrsg.): Von Handaufmaß bis High Tech, Kolloquium an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Verlag Philipp von Zabern, Mainz, 2001, S. 153-164.

WULF-RHEIDT, U., WOLF, M.: Hinweise zur Bauaufnahme. Studienmaterialien 4, Lehrstuhl für Baugeschichte, BTU Cottbus, unveröffentlicht, 1996.

ZLATANOVA, S., GRUBER, M.: 3D urban GIS on the Web: Data Structure and Visualization. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXII, Part4, Com. IV Symposium, Stuttgart, 1998, S. 691-699.

ZLATANOVA, S., TEMPFLI, K.: Modelling for 3D GIS: Spatial analysis and visualisation through the Web. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIII, Part B4, Amsterdam, 2000, S. 1257-1264.

3D-1500: http://www.minolta.de, recherchiert 2001.

3x3: http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/wgv/3x3.htm, recherchiert 2001.

Abbildungsverzeichnis

Lebenslauf

seit November 2001	Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 524 'Werkstoffe und Konstruktionen für die Revitalisierung von Bauwerken' sowie an der Professur Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar
Aug. 2001 – Sep. 2001	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Vermessungskunde der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus
Jun. 1995 – Jun. 2001	Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Vermessungskunde der BTU Cottbus
Okt. 1990 – Mai 1995	Studium der Geodäsie an der Universität Hannover
Okt. 1988 – Sep. 1990	Studium der Geodäsie an der Technischen Universität Braunschweig,
Jul. 1987 – Sep. 1988	Wehrdienst
Aug. 1974 – Jun. 1987	Schulausbildung, Abitur am Gymnasium Julianum in Helmstedt
25. April 1968	geboren in Helmstedt

Dank

Die Entwicklung meiner Dissertation von den ersten Gedanken bis zu dieser letzten Seite war nur aufgrund der kleinen wie großen und direkten wie indirekten Unterstützung vieler Freunde und Kollegen möglich. Für die sehr gute fachliche Zusammenarbeit und die vielen persönlichen Kontakte möchte ich mich bei allen Personen meiner 'Cottbuser Zeit' recht herzlich und besonders nachdrücklich bedanken.

Dies sind zahlreiche Kollegen an der BTU Cottbus, insbesondere an den Lehrstühlen für Vermessungskunde und Baugeschichte. Die offene und freundschaftliche Arbeitsatmosphäre hat nicht nur diese, die engen Fachdisziplinen überschreitende Arbeit ermöglicht, sondern im Laufe der Jahre vielfältige – und wie ich hoffe auch gegenseitige – neue Eindrücke und prägende Erfahrungen hervorgebracht.

Allen Kollegen der TU Berlin und anderen Mitstreitern auf dem Gebiet der Architekturphotogrammetrie und der Bauaufnahme danke ich für kritische und anregende Diskussionen; nur durch die aufgeschlossene fachliche Zusammenarbeit konnte ich dieses Thema über den engen Wirkungskreis des oft zitierten universitären Elfenbeinturms hinaus entwickeln.

Allen direkt am Promotionsverfahren beteiligten Personen danke ich für ihre Unterstützung, insbesondere allen drei Gutachtern, die mir durch ihre vertrauensvolle und persönliche Zusammenarbeit in den zurückliegenden Jahren wesentliche Impulse gaben.

Mein persönliches Umfeld in Barmke, Dresden, Cottbus und anderen Orten stellte jedoch die wichtigste und entscheidende Motivation zum Abschluss dieser Arbeit bereit.

Herzlichen Dank!